

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

INSINÖÖRITIEIDEIDEN JA ARKKITEHTUURIN TIEDEKUNTA

RAKENNUS- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

Tuija Tukiainen

VESIHUOLTOLAITOSTEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT SUOMESSA

Vesihuoltotekniikan diplomityö,
joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 2.11.2009

Valvoja: Professori Riku Vahala

Ohjaaja: DI Saijariina Toivikko

TKK
Rakennus- ja
ympäristötekniikan kirjasto

Tekijä:	Tuija Kaarina Tukiainen		
Diplomityö:	Vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöt Suomessa		
Päivämäärä:	2.11.2009	Sivumäärä:	150
Professuuri:	Vesihuoltotekniikka	Koodi:	Yhd-73
Valvoja:	Professori Riku Vahala		
Ohjaaja:	DI Saijariina Toivikko		
Avainsanat:	Kasvihuonekaasupäästöt, energiatehokkuus, haihduntapäästöt, vesilaitokset, jätevedenpuhdistamot		
<p>Tämän diplomityön tavoitteena on ollut selvittää vesihuoltosektorin aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen suuruusluokka ja löytää keinoja päästöjen vähentämiseksi. Työssä on keskitytty laitosten toiminnan kannalta keskeisimpiin kasvihuonekaasuihin: fossiiliseen hiilidioksidiin (CO₂), metaaniin (CH₄) ja dityppioksidiin (N₂O). Sekä energiankäytön seurauksena välillisesti syntyvät päästöt että jäteveden ja jätevesilietteen käsittelystä syntyvät suorat haihduntapäästöt on huomioitu. Tarkastelun ulkopuolelle on rajattu kaikki elinkaaritarkastelua edellyttävät aihealueet, kuten prosessikemikaalien tai vesi- ja viemäriputkien valmistuksesta koituva ympäristökuormitus. Päästöjen vähentämisessä on keskitytty energiankäytön tehostamiseen.</p> <p>Päästöjen suuruusluokan selvittämiseksi tehtiin kysely 11 vesihuoltolaitokselle. Nämä laitokset tuottavat yhteensä 24 % Suomessa valmistettavasta talousvedestä ja käsittelevät 34 % Suomen yhdyskuntajätevesistä. Vastausten perusteella vesihuoltolaitosten sähkönkäyttö Suomessa on arviolta 500 GWh ja kasvihuonekaasupäästöt kaikkiaan noin 310 000–400 000 t CO₂-ekv/a. Tämän selvityksen perusteella n. 50–60 % vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöistä muodostuu haihduntapäästöistä, joskin haihduntapäästöjen tarkan suuruusluokan määrittämiseen liittyy epävarmuuksia. Kaikkiaan päästöjen määrä on vähäinen, kun sitä verrataan esimerkiksi kotitalouksissa tapahtuvan vedenlämmittämisen päästöihin, jotka ovat arviolta 1,3–1,4 miljoonaa t CO₂-ekv vuodessa.</p> <p>Vesihuoltolaitosten energiankäyttöä voidaan tehostaa parantamalla verkostojen kuntoa, tehostamalla pumppausta verkostoissa ja laitoksilla ja ilmastusta jätevedenpuhdistamoilla ja huomioimalla verkostojen energiatehokkuus maankäytön suunnittelussa. Päästöjä voitaisiin vähentää merkittävästi hyödyntämällä lietteen ja puhdistetun jäteveden energiasisältöjä nykyistä laajemmin.</p>			

Author:	Tuija Kaarina Tukiainen		
Thesis:	Greenhouse Gas Emissions of Finnish Water and Wastewater Utilities		
Date:	November 2, 2009	Number of pages:	150
Professorship:	Water and Environmental Engineering	Code:	Yhd-73
Supervisor:	Professor Riku Vahala		
Instructor:	M.Sc. Techn Saijariina Toivikko		
Key Words:	Greenhouse gas emissions, fugitive emissions, energy efficiency, water treatment, wastewater treatment		

The aim of this master's thesis was to find out the magnitude of the greenhouse gas emissions resulting from the functions of Finnish water and wastewater utilities and to find ways to reduce those emissions. The focus was on three greenhouse gases considered the most essential ones evolving from the activities of water and wastewater facilities – fossil carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). Both the emissions resulting from energy use as well as the fugitive emissions from wastewater and sludge treatment were considered. Elements requiring life cycle assessment, e.g. the energy demand of chemicals production, were left outside the scope of the work. The focus was on reducing the emissions by improving energy efficiency.

In order to find out the level of the energy use, a query was made for 11 Finnish water and wastewater utilities. Together these utilities handle around 24 % of all drinking water produced by water utilities in Finland and treat around 34 % of all Finnish sewage. According to gathered data, the electricity consumption of Finnish water and wastewater treatment utilities is approximately 500 GWh a year and the total greenhouse gas emissions 310,000–400,000 t CO₂e a year. Fugitive emissions seem to form approximately from 50–60 % of all emissions, even though many uncertainties are related to defining the fugitive emission levels. The level of all the emissions resulting from the activities of Finnish water and wastewater utilities is low compared to the emissions resulting from water heating at households that was estimated to be around 1.3–1.4 million t CO₂e annually.

The most important ways to improve energy efficiency were found to be improving the condition of the water pipeline and sewage networks, improving the pumping efficiency at water and wastewater networks and utilities, improving aeration efficiency at wastewater treatment utilities and considering pipeline network efficiency in land use planning. Substantial emission benefits could be achieved by increasing the use of treated wastewater for heat production and the use of wastewater sludge for energy production.

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO.....	4
TAULUKKOLUETTELO	7
KUVALUETTELO	8
SYMBOLILUETTELO	10
ALKUSANAT.....	11
KIIITOKSET	12
1 JOHDANTO.....	13
2 ILMASTONMUUTOS JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT	14
2.1 Ilmaston lämpeneminen ja kasvihuonekaasut.....	14
2.2 Kansainväliset sopimukset.....	15
2.3 EU:n ilmastopolitiikka.....	15
2.4 Suomen kasvihuonekaasupäästöt	16
2.5 Vesihuoltosektorin kasvihuonekaasupäästöt ja niiden merkittävyys	18
3 VERKOSTON ENERGIANKULUTUS.....	20
3.1 Vesijohtoverkosto.....	20
3.2 Viemäriverkosto	22
4 PUMPPAUKSEN ENERGIANKULUTUS.....	23
4.1 Pumpun energiankulutuksen muodostuminen	23
4.2 Taajuusmuuttajan käyttö.....	23
4.3 Pumppauksen energiatehostaminen	25
4.3.1 Suunnittelu ja pumppujen hankinta	25
4.3.2 Pumppujen käyttö ja huolto.....	26
4.3.3 LVI pumppaamoilla	27
5 VEDEN HANKINNAN JA KÄSITTELYN ENERGIANKULUTUS	28
5.1 Yleistä	28
5.2 Laitteiston sähkönkulutus	29
5.2.1 Pumppaus	29
5.2.2 UV-lamput.....	29
5.2.3 Otsonaattorit	30
5.2.4 Flotaatio	31
5.2.5 Kalvosuodatustekniikat	31
6 JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN ENERGIANKULUTUS.....	33
6.1 Yleistä.....	33
6.2 Puhdistamon koon vaikutus energiankulutukseen	33
6.3 Sähkönkulutustietojen vertailuarvoja	36
6.4 Puhdistusprosessin vaikutus energiankulutukseen.....	37
6.4.1 Puhdistustavoitteiden vaikutus energiankulutukseen	37
6.4.2 Bioroottorilaitokset	38
6.5 Energiankulutuksen jakautuminen eri prosessiyksiköiden kesken	39
6.6 Pumppauksen energiankulutus.....	40
6.6.1 Yleistä	40
6.6.2 Pumppauksen energiankulutuksen vähentäminen	40
6.7 Ilmastus.....	41
6.7.1 Yleistä	41
6.7.2 Ilmastimet ja kompressorit.....	42
6.7.3 Ilmastuksen ohjaus.....	43
6.7.4 Ilmastuksen energiankulutuksen vähentäminen	43
6.8 Jätevedenpuhdistamoiden energiankäytön tehostaminen	44

7	LIETTEENKÄSITTELYN ENERGIANKULUTUS.....	46
7.1	Yleistä.....	46
7.2	Lietteen mekaaninen tiivistys ja kuivaus.....	47
7.2.1	Lietteen sakeutus	47
7.2.2	Koneellinen kuivaus	47
7.2.3	Mekaanisten kuivausmenetelmien energiantarpeen vertailu.....	49
7.2.4	Terminen kuivaus	51
7.2.5	Muut menetelmät	52
7.3	Loppukäsittelyn energiantarve	52
8	HAIHDUNTAPÄÄSTÖT	52
8.1	Yleistä.....	52
8.2	Haihduntapäästöjen määrä ja merkittävyys	53
8.3	Haihduntapäästöt päästölähteittäin.....	55
8.3.1	Jäteveden käsittelyn metaanipäästöt	55
8.3.2	Jäteveden käsittelyn dityppioksidipäästöt	56
8.3.3	Jäteveden käsittelyn NMVOC- päästöt.....	57
8.3.4	Vesistössä muodostuvat dityppioksidipäästöt	58
8.3.5	Kompostoinnin ja kaatopaikkasijoituksen päästöt	58
9	LÄMMÖN TALTEENOTTO	59
9.1	Yleistä.....	59
9.2	Lämmön talteenoton mahdollistavat tekniikat.....	59
9.2.1	Lämmönsiirrin	59
9.2.2	Lämpöpumppu.....	61
9.2.3	Absorptiojäähdytys	62
9.3	Lämpöpumput jäteveden lämpösisällön hyödyntämisessä	63
9.4	Lämmön talteenotto Helsingin ja Turun jätevesistä.....	64
9.5	Lämmönkäytön tehostaminen	67
10	ENERGIANTUOTANTO.....	68
10.1	Yleistä	68
10.2	Biokaasutus	68
10.2.1	Yleistä	68
10.2.2	Kaasuntuoton tehostamismahdollisuudet.....	69
10.3	Kaasun energiahyödyntäminen	70
10.3.1	Yleistä	70
10.3.2	Lämpökattila.....	70
10.3.3	Kaasumoottori	70
10.3.4	Mikroturbiini	71
10.3.5	Stirlingmoottori	72
10.3.6	Polttokenno.....	73
10.3.7	Käyttö ajoneuvopolttoaineena	73
10.4	Lietteenpoltto	75
10.4.1	Yleistä	75
10.4.2	Polttotekniikat.....	76
10.5	Muut energiantuotantotavat	77
10.6	Lietteenkäsittelyn ympäristövaikutukset	78
10.6.1	Lietteenkäsittelyyn liittyvät yleiset ympäristönäkökohdat	78
10.6.2	Lietteenkäsittelyn ilmastovaikutukset.....	79
11	KÄYTÄNNÖN TOIMET PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI.....	81
11.1	Energiatehokkuuden parantamisen välineet	81
11.2	Eri maiden energiatehokkuusprojekteja	81

12	TUTKIMUSAINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	83
12.1	Tavoite ja rajaukset.....	83
12.2	Menetelmät	83
12.2.1	Kysely	83
12.2.2	Laskennan toteuttaminen	83
12.2.3	Sähkön- ja lämmöntuotannon päästökertoimet	84
12.3	Kyselyyn vastanneet laitokset.....	85
12.3.1	Yleistä	85
12.3.2	Laitoskohtaiset tiedot.....	86
12.4	Tiedonkeruun sujuminen	87
13	TUTKIMUSTULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI.....	88
13.1	Vesihuoltolaitosten energiankäyttö	88
13.1.1	Energiankäytön määrät	88
13.1.2	Energiatietojen vertailu	89
13.2	Energiankäytön jakautuminen ja ominaisenergiatiedot.....	91
13.2.1	Vesilaitokset	91
13.2.2	Jätevedenpuhdistamot	92
13.2.3	Viemäriverkosto	98
13.3	Laitosten ja verkostojen lämmöntarve.....	100
13.4	Veden lämmittäminen kotitalouksissa.....	101
13.5	Vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöt.....	102
13.5.1	Energiankäytöstä seuraavat päästöt	102
13.5.2	Haihduntapäästöt	103
13.5.3	Kuljetusten päästöt.....	104
13.5.4	Kompostoinnin sähkönkulutuksen päästöt.....	104
13.5.5	Päästöt kaikkiaan	105
13.6	Päästöjen vähentäminen.....	105
13.6.1	Energian talteenoton ja tuotannon potentiaali	105
13.6.2	Energiankäytön vähentämisen potentiaali.....	107
13.6.3	Päästövähennyspotentiaali kaikkiaan	108
13.6.4	Päästöjen kehitys tulevaisuudessa	108
14	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	109
15	JATKOTUTKIMUSTARPEET.....	110
	LÄHDELUETTELO	111
	LIITTEET	119

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Eri kasvihuonekaasujen GWP -kertoimia (IPCC 2007a, 212)	14
Taulukko 2. Polttoaineiden CO ₂ -oletuspäästökertoimia (Tilastokeskus: Polttoaineluokitus 2006)	18
Taulukko 3. Matala- ja keskipainelamppujen sähkönkulutus (Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys 2003).	30
Taulukko 4. Sähkönkulutuksen tavoite- ja toleranssiarvoja mitoitukseltaan yli 10 000 AVL:n laitoksille. Biokaasun ominaistuotto koskee myös yhteismädätyslaitoksia (Haberkern <i>et al.</i> 2008).	36
Taulukko 5. Biologisen osan sähkönkulutus saksalaisella mallilaitoksella, jonka prosessi sisältää typenpoiston ja esiselkeytyksen (Müller <i>et al.</i> 1999).	40
Taulukko 6. Suotonauhapuristimien sähkönkulutuksia (Stenberg lähteessä Lana <i>et al.</i> 2008). Sähkönkulutus kWh/t tarkoittaa sähkönkulutusta tuotettua (20 % TS) lietetonna kohden.	48
Taulukko 7. Linkojen sähkönkulutustietoja (Stenberg ja Söderlund lähteessä Lana <i>et al.</i> 2008)	48
Taulukko 8. Lietteenkuivaustekniikoiden tutkittuja sähkönkulutuksia 100 000 AVL laitoksella (Kjellén & Andersson 2002).	49
Taulukko 9. Eri lietteenkuivausmenetelmien sähkönkulutuksia 100 000 AVL mallilaitoksella (Kjellén & Andersson 2002).	50
Taulukko 10. Tutkittujen vesilaitosten tiedot. Po = pohjavesi, pi = pintavesi, tpo = tekopohjavesi.	86
Taulukko 11. Tutkittujen jätevedenpuhdistamoiden tiedot.	86
Taulukko 12. Energiankäytön jakautuminen Suomen vesihuoltolaitosten toiminnassa.	88
Taulukko 13. Tutkimusaineiston yleistyksestä lasketut arvot: energiankäyttö liittyjää kohden vuodessa.	90
Taulukko 14. Jätevedenpuhdistamoiden ja viemäriverkostojen ominaisenergiankulutukset kuudelta laitokselta.	95
Taulukko 15. Vesihuoltolaitosten toiminnasta energiankulutuksen perusteella aiheutuvat päästöt (ilman päästövähennyksiä).	102
Taulukko 16. Haihduntapäästöjen laskennassa käytetyt arvot (Viikinmäen laskentamenetelmä).	103
Taulukko 17. Viikinmäen laskentamenetelmän korrelaatiokertoimet	103
Taulukko 18. Suomen jätevedenpuhdistamoiden haihduntapäästöt Viikinmäen laskentamenetelmän perusteella.	103
Taulukko 19. Kasvihuonekaasuinventaarion mukaiset haihduntapäästöt vuonna 2007 esitettyinä vuoden 1995 ja vuoden 2007 IPCC:n päästökertoimilla.	104
Taulukko 20. Vesihuoltolaitosten päästöt päästölähteittäin, t CO ₂ -ekv/a.	105
Taulukko 21. Jätevesilietteen eri hyödyntämisvaihtoehtojen päästöhyvitykset, kun tarkastelu tehdään pelkän energiantuotannon päästöjen perusteella.	107

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kasvihuonekaasujen päästöt 2003–2008 suhteessa Kioton pöytäkirjan tavoitetasoon, miljoonaa t CO ₂ -ekv. Vuoden 2008 tieto perustuu energiaennakon tietoihin (Tilastokeskus 2009).	17
Kuva 2. Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2007 päästölähteen mukaan, Tg CO ₂ -ekv. (Tilastokeskus 2009, 12).	18
Kuvat 3 ja 4. Paineenkorotusasema ulkoa ja sisältä (Hämeenlinnan Seudun Vesi).	21
Kuva 5. Taajuusmuuttajia (Hämeenlinnan Seudun Vesi).	25
Kuva 6. Oulun Veden vedenpuhdistuksen prosessikaavio (Oulun Vesi 2009).	28
Kuva 7. Oulun Veden jätevedenpuhdistuksen prosessikaavio (Oulun Vesi 2009).	33
Kuva 8. Suomalaisten, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutus kWh/m ³ . (Kangas 2004, julkaisematon aineisto).	34
Kuva 9. Suomalaisten, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutus kWh/m ³ , suurimmat laitokset poistettu (Kangas 2004, julkaisematon aineisto).	35
Kuva 10. Suomalaisten, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden ominaissähkönkulutuksia suhteutettuna puhdistettuun vesimäärään (muokattu lähteestä Kangas 2004).	36
Kuva 11. Suomalaisten yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden ominaissähkönkulutuksia suhteutettuna poistettuun BOD:iin (Kangas 2003, julkaisematon aineisto).	37
Kuva 12. Suomalaisten, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden ominaissähkönkulutuksia toteutuneeseen nitrifikaatioasteeseen verrattuna (Kangas 2004).	38
Kuva 13. Suomalaisten jätevedenpuhdistamoiden kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuudet (muokattu lähteestä Kangas 2004).	47
Kuva 14. Linkokuivattua, mädätettyä lietettä (Hämeenlinnan Seudun Vesi).	49
Kuva 15. Jätevesien käsittelyn haihdutuspäästöt päästölähteittäin Suomessa vuosina 1990–2007, Gg CO ₂ -ekv. Värikoodit alhaalta ylös: sininen = teollisuusjätevesi, punainen = keskitetysti puhdistettu yhdyskuntajätevesi, vihreä = haja-asutuksen jätevesi, vaaleansininen = teollisuusjäteveden typpikuormitus, tummanvihreä = kalankasvatuksen typpikuormitus. (Tilastokeskus 2009).	54
Kuva 16. Kompostoinnista syntyvien kasvihuonekaasujen määrä Suomessa vuosina 1990 – 2007, Gg CO ₂ -ekv. Värikoodit: sininen = yhdyskuntajäte, vihreä = yhdyskuntaliete, keltainen = teollisuusliete, punainen = kiinteä teollisuusjäte, rakennusjäte. Tilastokeskus 2009, 331.	55
Kuva 17. Jätevesilämmönsiirrin Katri Valan kaukolämpö- ja kaukojäähdytyslaitoksella.	60
Kuva 18. Spiraalilämmönvaihdin, jossa kohtaavat mädättämöön tuleva ja sieltä lähtevä liete (Hämeenlinnan Seudun Vesi).	61
Kuva 19. Absorptiokoneen toimintaperiaate (Koljonen & Sipilä 1998)	63
Kuva 20. Katri Valan kaukolämpö- ja kaukojäähdytyslaitos.	64
Kuva 21. Osa yhdestä Katri Valan laitoksen lämpöpumpusta.	65
Kuva 22. Päijät-Hämeen jätehuollon kaatopaikalla toimiva mikroturbiinilaitos Lahdessa. Mikroturbiiniyksiköt (2 kpl) näkyvät kuvassa vasemmalla, taustalla puolestaan biokaasun puhdistukseen käytettävät aktiivihiilisuodattimet.	72
Kuva 23. Biokaasun jalostuslaitos Ruotsin Falköpingissä. Kuva: Anders Johansson, Falköpingin kunta.	74
Kuva 24. Suomen vesihuoltolaitosten energiankäytön muodostuminen nettotarkastelua käytettäessä.	89

Kuva 25. Pintavesilaitosten energiankäytön jakautuminen eri toimintojen kesken. Kuvan arvot ilmaisevat energiankulutuksen yksikössä kWh/a.	91
Kuva 26. Vesilaitosten ja vesijohtoverkoston ominaisenergiankäyttö.	92
Kuva 27. Jätevedenpuhdistamoiden energiankäytön jakautuminen eri toimintojen kesken (omaa energiantuotantoa ei ole vähennetty energiankulutuksesta). Kuvan arvot ilmaisevat energiankäytön kokonaismäärät yksikössä kWh/a.	93
Kuva 28. Jätevedenpuhdistamoiden ja viemäriverkoston sähkön ja lämmön ominaiskulutukset (netto; oma energiantuotanto vähennetty käytetyn energian määrästä).	94
Kuva 29. Jätevedenpuhdistamoiden sähkön- ja lämmönkulutukset viideltä laitokselta (netto; oma energiantuotanto vähennetty käytetyn energian määrästä). Tulopumppaus sisältyy puhdistamoiden energiankulutukseen.	95
Kuva 30. Jätevedenpuhdistamon energiankäyttö suhteessa poistettuun BOD ₇ – kuormitukseen (nettotarkastelu).	96
Kuva 31. Viiden jätevedenpuhdistamon energiankäyttö suhteessa poistettuun BOD ₇ – kuormitukseen (nettotarkastelu).	97
Kuva 32. Jätevedenpuhdistamon ja viemäriverkoston energian nettokulutus suhteessa kokonaistypenpoistotehokkuuteen.	97
Kuva 33. Jätevedenpuhdistamon energian nettokulutus suhteessa kokonaistypenpoistotehokkuuteen.	98
Kuva 34. Viemäriverkoston sähkönkulutus (5 laitosta).	99
Kuva 35. Viemäriverkoston sähkönkulutus suhteessa verkostotiheyteen.	100

SYMBOLILUETTELO

AOR prosessin kokonaishapentarve (actual oxygen requirement)
AVL asukasvastineluku
BAT paras käytettävissä oleva tekniikka (best available/applicable technology)
BOD biokemiallinen hapenkulutus
CO₂-ekv hiilidioksidiekvivalentti, kasvihuonekaasun ilmastoa lämmittävää vaikutusta kuvaava yksikkö
COP lämmöntuottokerroin, lämpökerroin (coefficient of performance)
EEA Euroopan ympäristövirasto, European Environmental Agency
E-PRTR Euroopan päästörekisteri (European Pollutant Release and Transfer Register)
GWP kasvihuonekaasun ilmastoa lämmittävää vaikutusta kuvaava indeksi (global warming potential)
IPCC hallitustenvälinen ilmastopaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
NMVOC haihtuva orgaaninen yhdiste, joka on muu kuin metaani (non-methane volatile organic compound)
UNFCCC YK:n ilmastosopimus (United Nations Framework Convention on Climate Change)
SOTE hapensiirtotehokkuus
TS kiintoainepitoisuus (total solids)
VOC haihtuva orgaaninen yhdiste (volatile organic compound)

ALKUSANAT

Janne Saarikivi¹

Mikä on yhteistä kalalle
trumpetille ja piipulle?
entäpä mitä on hyvyys ja kampela?
asioitapa tietenkin ovat ne
Mikä kumma on munakas
tuo munista tehty hassu?
asiahan se on ja hiukan litteä
ja pehmeä asia taas on töyhtö
Asioita on esimerkiksi juusto
ja pelikaanikin on asia
muita asioita ovat tursas ja viisumi
maailma on asioita pullollaan

¹ Lupa saatu 24.6.2009

KIITOKSET

Tämä opinnäytetyö on saanut alkunsa tarpeesta kartoittaa Suomen vesihuoltosektorin kasvihuonekaasupäästöjä ja löytää päästöihin vähennyskeinoja. Kiitokset Vesi- ja viemärilaitosyhdistykselle ja VTT:lle, joiden tuella työ on tehty. Työn toteuttamisen kannalta on ollut ensiarvoisen tärkeää, että suomalaisilta vesihuoltolaitoksilta on saatu tietoja laitosten energiankäytön määristä. Suurkiitos siis diplomityöhön liittyvään kyselyyn vastanneille, ilman teidän panostanne tämän työn tekeminen ei olisi ollut mahdollista. Samoin kiitos työn ohjausryhmälle ja työn valvojalle, professori Riku Vahalalle. Erityiskiitokset Ari Kankaalle, jonka kokoamaa, jätevedenpuhdistamoita koskevaa aineistoa on hyödynnetty työssä paljon. Lisäksi lukuisat henkilöt laitoksilla, yrityksissä, ympäristökeskuksissa ja muualla ovat vastanneet diplomityötekijän kysymyksiin ja toimittaneet lisätietoja. Haluan kiittää heitä siitä, että he ovat käyttäneet aikaansa ja jakaneet asiantuntemustaan tämän työn tekemiseen. Erityisesti haluan kiittää työn ohjaaja Saijariina Toivikkoa arvokkaista neuvoista. Lämmin kiitos Lasselle ja muulle perheelle tuesta opintojen ja työn tekemisen aikana.

Helsingissä 2.11.2009

Tuija Tukiainen

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos on kehittynyt viime vuosina merkittäväksi maailmanlaajuiseksi huolenaiheeksi, ja kasvihuonekaasupäästöjen määrää on ryhdytty säätelemään. Suomi on Kioton pöytäkirjan velvoittamana sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään. Lisäksi EU-maat ovat asettaneet yhteisiä päästövähennysvelvoitteita ja tavoitteita, jotka koskevat myös Suomea. Päästökaupan ulkopuolelle jääville aloille on Suomen osalta sovittu EU:ssa yleinen 16 %:n päästövähennysvelvoite ja lisäksi EU on ottanut tavoitteekseen parantaa energiatehokkuutta 20 % vuoteen 2020 mennessä. Vesihuoltosektoriin kohdistuu siten paineita sekä päästöjen vähentämiseksi että energiatehokkuuden parantamiseksi. Vesihuoltolaitosten energiankäytön määriä ja energiatehokkuuden parantamisen keinoja on selvitetty jo esimerkiksi muissa Pohjoismaissa ja Keski-Euroopassa.

Tämän diplomityön tarkoitus on kartoittaa Suomen vesihuoltolaitosten toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen lähteet, määrä ja merkittävimmät vähennyskeinot. Työssä on keskitytty kolmeen, vesihuoltolaitosten toiminnan kannalta keskeisimpään kasvihuonekaasuun: fossiiliseen hiilidioksidiin (CO_2), metaaniin (CH_4) ja dityppioksidiin (N_2O). Tarkastelun ulkopuolelle on jätetty kaikki laajempaa elinkaaritarkastelua edellyttävät tekijät.

Työn alkupuolella käydään läpi vesihuollon eri osa-alueita ja tuotu esille energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen muodostumisen kannalta merkittävimpiä tekijöitä. Samalla esitetään keinoja energiankulutuksen vähentämiseen. Kappaleessa 7 käsitellään haihduntapäästöjen muodostumista jäteveden- ja lietteenkäsittelyn yhteydessä. Työssä esitetään myös vesihuoltolaitosten lämmön talteenoton ja muun oman energiantuotannon mahdollisuuksia ja tekniikoita.

Työn loppuosassa arvioidaan Suomen vesihuoltolaitosten toiminnan energiankulutus ja kulutuksen jakautuminen vesihuoltolaitosten eri toimintojen kesken. Koottujen tietojen pohjalta esitetään myös arvio vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöistä. Energiankäyttöä kartoitettiin laitoksille suunnatun kyselyn avulla. Kyselyyn saatiin vastauksia 11 laitokselta, jotka tuottavat yhdessä n. 24 % Suomessa valmistettavasta talousvedestä ja käsittelevät n. 34 % Suomen jätevedenpuhdistamoille tulevasta jätevedestä. Näiltä laitoksilta saadut energiatiedot ja tätä kautta energiankäytön päästöt yleistetään koskemaan koko maata. Yleistys tehdään erikseen kahdessa eri kokoluokassa. Lisäksi hahmotellaan jätevesilietteen kompostoinnin energiankulutuksen ja kuljetusten päästöt ja arvioidaan haihduntapäästöjen määrää kahden laskentamallin avulla. Laitosten vastauksista saatujen energiankäyttötietojen jakautuminen eri toimintoihin eritellään ja vertaillaan mahdollisten selittävien tekijöiden löytämiseksi. Kyselystä saatujen tietojen ja kirjallisuuden perusteella arvioidaan karkeasti päästöjen vähennyspotentiaalia.

2 ILMASTONMUUTOS JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

2.1 Ilmaston lämpeneminen ja kasvihuonekaasut

Maapallon ilmasto lämpenee. Viimeisten sadan vuoden aikana maapallon keskilämpötila on noussut 0,74 astetta ja sen odotetaan nousevan 1,1–6,4 astetta vuoteen 2100 mennessä vuosien 1980–1999 keskilämpötilaan verrattuna (IPCC 2007c). Ehdoton enemmistö ilmastotutkijoista on sitä mieltä, että ilmasto on lämmennyt ihmisen aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen takia. Tästä syystä monien ilmakehään päätyvien kasvihuonekaasujen määrää on ryhdytty säätelemään.

Kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus vaihtelee kaasusta riippuen, sillä eri kaasut pidättävät lämpösäteilyä maapallolla eri tehoisesti. Kasvihuonekaasupäästöjen voimakkuus ilmoitetaan yleisen käytännön mukaan vaikutukseltaan vastaavaksi hiilidioksidimääräksi muutettuna. Näin erilaisten päästöjen vaikutuksen vertailu on helpompaa. Voimakkain kasvihuonekaasu on rikkiheksafluoridi (SF_6) – yksi kilogramma ilmakehään joutunutta rikkiheksafluoridia lämmittää maapalloa sadan vuoden aikana yhtä paljon kuin 22 800 kg hiilidioksidia (CO_2). Dityppioksidin painokerroin on sekin korkea, 298 CO_2 -ekv. Hiilidioksidi on kuitenkin kasvihuonekaasuista merkittävin, sillä sitä on ilmakehässä paljon – yli satakertaisesti muihin kasvihuonekaasuihin verrattuna (IPCC 2007c, 37). Taulukossa 1 on esitetty neljän eri kasvihuonekaasun ilmakehää lämmittävää vaikutusta kuvaavat GWP - kertoimet 20 ja 100 vuoden vaikutusajanjaksoille. GWP tulee sanoista global warming potential ja tarkoittaa ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Vaikutusta verrataan suhteutettuna hiilidioksidiin, jonka GWP -kerroin on 1.

Taulukko 1. Eri kasvihuonekaasujen GWP -kertoimia (IPCC 2007a, 212)

	Kerroin	
Aikajänne	20 vuotta	100 vuotta
CO_2	1	1
CH_4	72	25
N_2O	289	298
SF_6	16300	22800

Taulukossa 1 esitetyt kertoimet ovat vuodelta 2007. Kertoimia tarkistetaan ja ne ovat jonkin verran muuttuneet uuden tiedon karttuessa. Kansainväliset sopimukset on tehty IPCC:n toisen arviointiraportin eli vuoden 1995 kerrointen perusteella, ja kyseisiä kertoimia käytetään edelleen maiden päästöjä laskettaessa ja verrattaessa, jotta maat tietävät, mihin ovat sitoutuneet. Kansainvälisellä tasolla säädellään toistaiseksi Kioton pöytäkirjassa nimettyjen kuuden eri kasvihuonekaasun määrää. Nämä kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), dityppioksidi (N_2O) ja ns. F-kaasut (Kioton pöytäkirja unfccc.int). F-kaasut on yhteisnimitys erilaisille HFC-yhdisteille, PFC-yhdisteille ja rikkiheksafluoridille (SF_6). Näiden kaasujen lisäksi kasvihuoneilmiötä voimistavat ns. välilliset kasvihuonekaasut; vesihöyry (H_2O) ja otsoni (O_3) ja hiilimonoksidi (CO), typen oksidit (NO_x) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC eli muut haihtuvat orgaaniset yhdisteet kuin metaani). Nämä voivat tietyissä olosuhteissa muodostaa keskenään kasvihuonekaasuja ja vaikuttavat siten epäsuorasti kasvihuoneilmiöön. (IPCC 2007a; Ympäristöministeriö 2009). Epäsuorasti vaikuttaviin kaasuihin kuuluu myös rikkidioksidi (SO_2), jonka vaikutus on kuitenkin ilmakehää viilentävä. Typen oksidit, NMVOC:t ja hiilimonoksidi reagoivat ja muodostavat

alailmakehän otsonia, hiilimonoksidi reagoi ja muodostaa hiilidioksidia. Lisäksi NMVOC:t voivat reagoidessaan muodostaa metaania ja vesihöyryä. Hiilimonoksidin, typen oksidien, rikkidioksidin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrät raportoidaan Kiotoon pöytäkirjan edellyttämän kasvihuonekaasuinventaarion yhteydessä, mutta päästövelvoitteet eivät koske niitä (ilmasto.org 2009).

2.2 Kansainväliset sopimukset

Ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään YK:n ilmastopopimuksen avulla. Ilmastopopimus (UNFCCC) tehtiin vuonna 1992 ja vuonna 1997 siihen lisättiin Kiotoon pöytäkirja, joka on ensimmäinen sitova, määrälliset päästövähennystavoitteet sisältävä kansainvälinen sopimus. Kiotoon pöytäkirja astui voimaan vuonna 2005. Ilmastopopimuksen avulla pyritään saamaan ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet sellaiselle tasolle, ettei ihmisen toiminta vaikuta vaarallisesti ilmastoon (Ympäristöministeriö 2008). Taso on saavutettava sellaisessa ajassa, että ekosysteemit ehtivät sopeutua ilmastonmuutokseen, ruoantuotanto ei vaarannu ja talous voi kehittyä kestäväällä tavalla (Tilastokeskus 2008). Vuonna 1996 asetettiin tavoitteeksi ilmaston lämpeneminen korkeintaan kahdella asteella. Tämäkin on jo ns. suuremman riskin tavoite, joka sisältää huomattavan ilmaston epävakauden ja voimakkaiden, ilmastonmuutosta entisestään vahvistavien palautekytkentöjen riskin. Käytännössä ilmaston lämpenemistä vain yhdellä asteella ei kuitenkaan ole kannattanut asettaa tavoitteeksi, sillä sitä ei voitane enää saavuttaa.(ilmasto.org 2008).

YK:n ilmastopopimus velvoittaa sopijamaat ryhtymään toimenpiteisiin ilmastonmuutoksen hidastamiseksi, valvomaan ja mittaamaan päästöjään ja raportoimaan niistä ilmastopopimuksen sihteeristölle. Kiotoon pöytäkirjassa on määritelty teollisuusmaiden yhteenlasketuksi päästövähennystavoitteeksi 5,2 % vuoteen 1990 verrattuna. EU-15 -maiden yhteenlaskettu päästövähennystavoite pöytäkirjan nojalla on 8 %. Tavoite on saavutettava Kiotoon pöytäkirjan ensimmäisellä velvoitekaudella, vuosina 2008–2012 ja se on jaettu eri tavoin eri maiden kesken (Tilastokeskus 2009). EU:n sisäisessä päästövähennysjaossa Suomen velvollisuudeksi on muodostunut päästöjen vakiinnuttaminen vuosina 2008–2012 vuoden 1990 tasolle. (Niin kutsuttujen F-kaasujen osalta vertailuvuosi on 1995.) Tämä tarkoittaa sitä, että kyseisenä ajanjaksona vuosittaisen päästöjen on oltava keskimäärin vuoden 1990 tasolla (EEA 2008). Kiotoon pöytäkirjan päästövähennystavoitetta voidaan pitää vaatimattomana, sillä IPCC on arvioinut, että päästöjä pitäisi leikata maailmanlaajuisesti yli 60 % ja teollisuusmaat tuottavat valtaosan päästöistä (ilmasto.org 2009).

Kunkin maan sisällä toteutettavien toimenpiteiden lisäksi maat voivat täydentää päästövähennyksiään ns. joustomekanismien avulla. Näitä pöytäkirjassa nimettyjä, nk. Kiotoon mekanismeja ovat kansainvälinen päästökauppa (Emission Trading, iET), puhtaan kehityksen mekanismi (Clean Development Mechanism, CDM) ja yhteistoteutus (Joint Implementation, JI). Kyseisten joustomekanismien avulla ne teollisuusmaat, joiden ei ole onnistunut vähentää päästöjään vaaditulle tasolle, voivat toteuttaa päästöjä vähentäviä tai hiilidioksidia sitovia hankkeita muissa maissa (Ympäristöministeriö 2009; Ilmastopopimus 2009).

2.3 EU:n ilmastopolitiikka

EU-maat ovat Kiotoon pöytäkirjan velvoitteiden lisäksi päättäneet omalla alueellaan pöytäkirjaa laajemmista tavoitteista. EU on sitoutunut muista maista riippumatta vähentämään omia päästöjään 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä

(Euroopan komissio 2009). Joulukuussa 2008 tehty päätös sisältää myös kohdan, jonka mukaan EU nostaa oman päästövähennystavoitteensa 30 %:iin vuoteen 2020 mennessä, mikäli uusi maailmanlaajuinen ilmastopöytäkirja saadaan aikaiseksi (EEA 2008). Kyseisessä ilmasto- ja energiapaketissa on lisäksi uusiutuvien energianlähteiden osuus sovittu nostettavaksi 20 %:iin ja energiatehokkuutta parannettavaksi 20 % vuoteen 2020 mennessä (Ympäristöministeriö 2009).

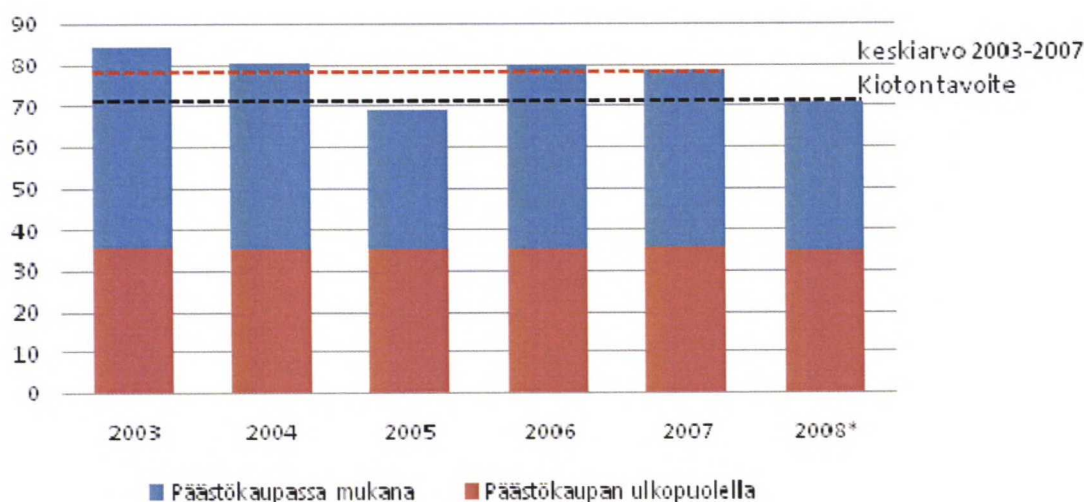
EU:ssa on otettu käyttöön sisäinen hiilidioksidin päästökauppa yhtenä keinona vähentää alueelta syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Kioton pöytäkirjan mukainen, valtioiden välinen päästökauppa koskee vuoteen 2012 saakka kaikkia kasvihuonekaasuja. EU:n sisäinen päästökauppa koskee tällä hetkellä ainoastaan hiilidioksidipäästöjä ja se onkin Kioton pöytäkirjan mukaisen valtioiden välisen päästökaupan sovellutus EU-maiden kesken. (Energiamarkkinavirasto 2009; Tilastokeskus 2008). EU-alueella on vuodesta 2003 ollut voimassa päästökauppadirektiivi ja päästökauppaa on kaikkien 27 EU-maan kesken käyty vuodesta 2005. Vuoden 2012 jälkeisellä kaudella tätä päästökauppaa laajennetaan ja sen piiriin tulee mm. lentoliikenne. (Ympäristöministeriö 2009). EU:n sisäisen päästökaupan piiriin kuuluvat tällä hetkellä 20 megawattia suurempien polttolaitosten sekä eräiden teräs-, mineraali- ja metsäteollisuuslaitosten ja prosessien hiilidioksidipäästöt (CO₂). Suomi ulottaa päästökaupan myös osaan pienistä kaukolämpölaitoksista. Suomessa päästökaupan piiriin kuuluvia laitoksia on n. 550 ja päästökauppa kattaa hieman yli puolet Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. (Ympäristöministeriö 2009; Energiateollisuus 2009). Päästökaupan piirissä olevilla aloilla kullakin laitoksella on omat päästökiintiönsä, jotka ylittävistä päästöistä täytyy maksaa esim. ostamalla ne joltain päästöoikeutensa alittaneelta. EU:n sisäisen päästökaupan piirissä olevilla aloilla sitova vähennystavoite on 21 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Tavoite on sama kaikissa EU-maissa, siten myös Suomessa. Päästökaupan ulkopuolisilla aloilla EU:n yhteenlaskettuna tavoitteena on 10 %:n vähennys, jälleen vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Tämä tavoite on jaettu eri maiden kesken siten, että Suomen tavoite on 16 % (Ympäristöministeriö 2009; ilmasto.org 2009; Tilastokeskus 2008).

Nämä päästökaupan ulkopuolisia aloja koskevat tavoitteet koskevat mm. vesihuoltoa. Tavoitteet saattavat kiristyä nykyisestä, kun joulukuussa 2009 Kööpenhaminassa sovitaan uusista kansainvälisistä päästövähennystavoitteista. Suomessa kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa päätetään, millaisiin toimiin ryhdytään päästökaupan ulkopuolisten alojen päästövähennysvelvoitteiden täyttämiseksi ja esim. missä määrin Suomi hyödyntää Kioton mekanismeja. (Suomen ympäristökeskus 2008; Energiateollisuus 2009).

2.4 Suomen kasvihuonekaasupäästöt

Tilastokeskus toimittaa YK:n ilmastopöytäkirjan sihteeristölle ja EY:n komissiolle vuosittain päästöinventaarion Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Päästöinventaariorissa pyritään mahdollisimman hyvään arvioon Suomen kasvihuonekaasupäästöjen suuruudesta ja jakautumisesta. Suomen kasvihuonekaasupäästöjen määrä vuonna 2007 vastasi 78,3 miljoonaa hiilidioksiditonnia. (Tilastokeskus 2009).

Kuvassa 1 on esitetty Suomen kuuden kasvihuonekaasun päästöt vuosina 1990 - 2007 verrattuna Kioton pöytäkirjan tavoitetasoon (Tilastokeskus 2009).



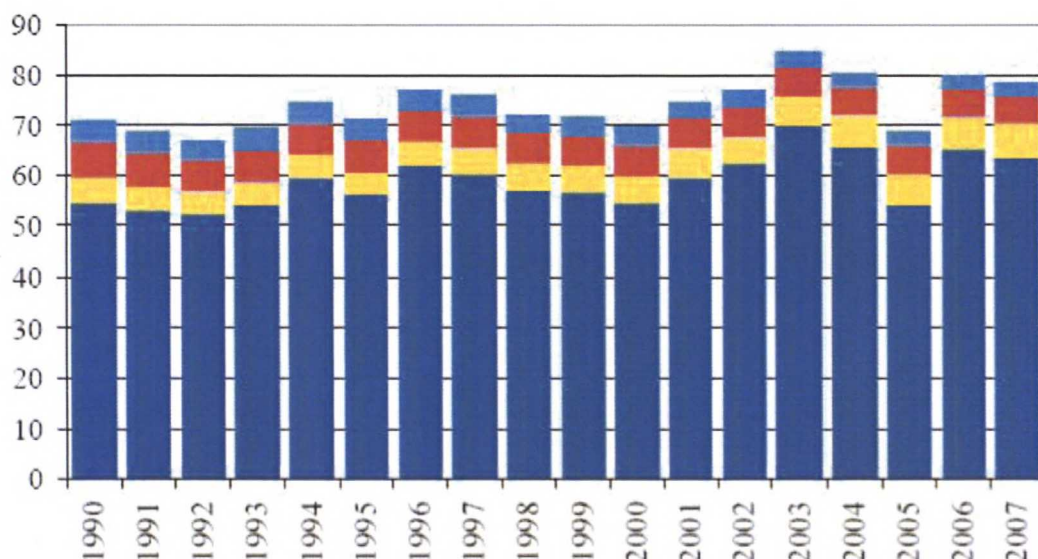
*Energiaennakko 24.3.2009 ja energiamarkkinaviraston tiedote 1.4.2009.

Kuva 1. Kasvihuonekaasujen päästöt 2003–2008 suhteessa Kioton pöytäkirjan tavoitetasoon, miljoonaa t CO₂-ekv. Vuoden 2008 tieto perustuu energiaennakon tietoihin (Tilastokeskus 2009).

Suomi ei tällä hetkellä ole tavoitteessaan, vaan maan kasvihuonekaasupäästöt ovat viime vuosina olleet keskimäärin yli 10 % Kioton pöytäkirjan sallitun päästörajan yläpuolella. Suomi joutuukin turvautumaan Kioton mekanismeihin saavuttaakseen päästövelvoitteensa. Kasvihuonekaasupäästöjen suuruus on vaihdellut Suomessa eri vuosina merkittävästi (Tilastokeskus 2008 ja 2009).

Välillisten kasvihuonekaasupäästöjen määrät raportoidaan inventaarion yhteydessä, vaikka ne jäävätkin Kioton pöytäkirjan rajoitusten ulkopuolelle. Välillisten kasvihuonekaasupäästöjen määrä on ollut laskussa vuodesta 1990 lähtien ja niiden merkitys Suomen kaikkien päästöjen kannalta on vähäinen, sillä niiden määrä on luokkaa sadasosa rajoitusten piirissä olevista kasvihuonekaasupäästöistä. Välillisten kasvihuonekaasupäästöjen laskuun on vaikuttanut mm. autojen katalysaattoreiden yleistymisen (NO_x ja CO) ja vähähiilisemmät polttoaineet (SO₂). Jätesektori, joka sisältää myös jätevesihuollon päästöt, tuottaa välillisistä kasvihuonekaasupäästöistä vain NMVOC -päästöjä ja niitäkin erittäin vähän. (Tilastokeskus 2009).

Kuvassa 2 on esitetty Suomen kasvihuonekaasupäästöt jaoteltuna päästölähteen mukaan. Jätevesilaitosten toiminnasta, haja-asutuksen jätevesistä ja yhdyskuntaliitteiden käsittelystä syntyvät metaani- ja dityppioksidipäästöt on ilmoitettu osana jätesektorin päästöjä. Nämä toiminnot yhdessä ovat muodostaneet viime vuosina alle 15 % koko jätesektorin päästöistä, jotka puolestaan muodostavat n. 3 % koko Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Valtaosa jätesektorin päästöistä syntyy jätteiden kaatopaikkasijoituksesta. (Tilastokeskus 2009).



Kuva 2. Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2007 päästölähteen mukaan, Tg CO₂-ekv. (Tilastokeskus 2009).

Energiasektori on Suomen suurin yksittäinen kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja – vuonna 2007 energiasektorin osuus kokonaispäästöistä oli 81 % (Tilastokeskus 2009). Suomen kasvihuonekaasupäästöistä sähkön ja kaukolämmön tuotannon päästöjen osuus on noin kolmannes (Energiateollisuus 2009). Tästä syystä energiankäytön vähentäminen ja energiatehokkuuden parantaminen ovat olennaisia keinoja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä.

Energiantuotannosta syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen suuruus riippuu sähkön- ja lämmöntuotannon tavoista. Päästöttömiksi tuotantotavoiksi katsotaan esim. tuulivoima, biokaasun poltto ja ydinvoima. Energiantuotannossa käytettävien polttoaineiden päästövaikutukset ovat erilaisia. Taulukossa 2 on esitetty eräiden polttoaineiden CO₂-oletuspäästökertoimia energiasisältöä kohden ilmaistuna.

Taulukko 2. Polttoaineiden CO₂-oletuspäästökertoimia (Tilastokeskus: Polttoaineluokitus 2006)

Polttoaine	t CO ₂ /TJ
Moottoribensiini	72,9
Dieselöljy	73,6
Kivihiili, bituminen (myös antrasiitti)	94,6
Ruskohiili	108,0
Maakaasu	55,0

Taulukosta 2 nähdään esim., että ruskohiilen polttaminen tuottaa noin kaksinkertaiset hiilidioksidipäästöt verrattuna maakaasun polttoon. Vastaavia kertoimia voidaan esittää kuvaamaan jonkin tietyn energiyhtiön, energiantuotantolaitoksen tai koko maan keskimääräisiä energiantuotannon päästöjä. Tällöin kunkin polttoaineen päästökerrointa painotetaan sen osuudella kaikista energiantuotannon polttoaineista.

2.5 Vesihuoltosektorin kasvihuonekaasupäästöt ja niiden merkittävyys

Vesihuollon toiminnoista syntyy kasvihuonekaasupäästöjä sekä välillisesti energiankäytön seurauksena että suoraan ilmaan siirtyvinä haihduntapäästöinä. Suomen

vesihuoltosektorin päästöt koostuvat käytetyn sähkön ja lämmön tuottamisen päästöistä ja jätevesien ja lietteiden käsittelystä syntyvistä haihduntapäästöistä. Haihduntapäästöinä syntyvistä kasvihuonekaasuista merkittävimmät ovat metaani ja dityppioksidi. Näiden lisäksi jätevesien käsittelystä haihtuu esim. NMVOC -yhdisteitä. Energiantuotannosta syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä puolestaan merkittävin on fossiilisten polttoaineiden sisältämän hiilen palamisesta syntyvä hiilidioksidi. Vähäisemmässä määrin energiantuotannosta syntyy myös muita ilmastoa suoraan tai välillisesti lämmittäviä kaasuja, kuten hiilimonoksidia, dityppioksidia, metaania ja muita hiilivetyjä sekä typen oksideja. Hiilidioksidipäästön ajatellaan olevan hiilineutraali ja sitoutuvan takaisin luontoon, jos hiilen lähde on uusiutuva. Näin ollen eloperäisten polttoaineiden kuten biokaasun poltosta syntyviä hiilidioksidipäästöjä tai aktiivilieteprosessista haihtuvaa hiilidioksidia ei lasketa mukaan kasvihuonekaasupäästöihin, vaikka lämmittävä vaikutus ilmakehässä onkin sama kuin fossiilista alkuperää olevalla hiilidioksidilla.

Vesihuoltosektorin merkittävyys energiankäyttäjänä ja haihduntapäästöjen tuottajana on erilainen eri maissa ja riippuu paljolti jätevesihuollon toteuttamisen tasosta. Maissa, joissa vedenjakelu on vähäistä ja jätevesihuolto puutteellista, haihduntapäästöjä (ja esim. päästöjä vesistöön) syntyy paljon. Kehittyneistä maista haihduntapäästöjä syntyy suhteessa vähemmän, mutta vesihuolto kuluttaa enemmän energiaa. IPCC:n mukaan kehittyneissä maissa jätevesisektorin metaani- ja dityppioksidipäästöt ovat tyypillisesti vähäisiä ja satunnaisia (koko muodostumispotentiaaliin verrattuna). IPCC on kuitenkin arvioinut, että maailman väestömäärän kasvun ja kaupungistumisen myötä jätevesisektorilta syntyvät metaani- ja dityppioksidipäästöt kasvavat 50 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. (IPCC 2007b).

Eri maiden vesihuoltosektoreiden energiankulutusten osuus kaikesta energiankulutuksesta vaihtelee, esim. Ruotsissa vesihuoltosektorin sähkönkulutus muodostaa n. 1 % maan sähkönkulutuksesta (Kjellén & Andersson 2002). Tilastokeskuksen tietojen mukaan veden puhdistuksen ja jakelun sähkönkulutuksen suuruus oli Suomessa vuonna 2006 241 086 MWh eli alle 0,3 % sähkön loppukäytöstä, joka vuonna 2006 oli 81 630 GWh (Energiateollisuus 2009). Tiedot on saatu 108 toimipaikalta, jotka työllistävät yli 10 henkeä. Lisäksi mukaan on laskettu joitakin muitakin toimipaikkoja, jos niiden energiankäyttö on katsottu merkittäväksi. (K.-M. Aalto 2.3.2009). Todellinen sähkönkulutus lienee esitettyä suurempi, sillä tilastoinnin ulkopuolelle jää osa suomalaisista vesilaitoksista. Tilastoinnin piiriin kuuluivat vuonna 2006 myös vesilaitosten käyttämät polttoaineet. Näissä on kuitenkin mukana esim. merkittäviä määriä jätevedenpuhdistuksen biokaasua, joten tiedot eivät ainakaan tältä osin ole luotettavia. Jäteveden käsittelystä ei ole vastaavaa tilastollista arviota energiankäytön suuruudesta. Sen sijaan jätevesien ja jätevesilietteen käsittelystä syntyvien haihduntapäästöjen määrää on arvioitu. Näistä päästöistä kerrotaan tarkemmin luvussa 7.

Eri maissa on parhaillaan käynnissä projekteja, joiden tavoitteena on vähentää vesihuollosta syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Tavoitteena ovat usein huomattavat, useiden kymmenien prosenttien vähennykset vesihuollon energiankulutuksessa ja kasvihuonekaasupäästöissä. Näitä projekteja on kuvattu tarkemmin luvussa 10.2.

3 VERKOSTON ENERGIANKULUTUS

3.1 Vesijohtoverkosto

Vesihuollon huomioiminen maankäytön suunnittelussa, topografia ja asukastiheys ja sitä kautta verkostotiheys vaikuttavat laitoskohtaiseen verkstopumppauksen energiantarpeeseen. Talousvesi toimitetaan kuluttajille paineellisen vesijohtoverkoston avulla. Vesijohtoverkosto koostuu vesisäiliöistä, putkistosta ja mahdollisista paineenkorotusasemista. Vesisäiliöt voivat olla ylävesisäiliöitä eli vesitorneja tai alavesisäiliöitä. Vedentarve verkoston eri kohdissa vaihtelee. Lisäksi vesijohtoverkostossa tarvittava paine vaihtelee maan pinnanmuodostumien ja rakennusten korkeuden mukaan.

Jakeluverkko mitoitetaan siten, että jakeluverkossa ja siihen liitettyjen kiinteistöjen putkistoissa on aina ylipainetta. Kaikissa vedenkäyttötilanteissa paineen tulee olla vedenkäyttölaitteille riittävä. Tontin tai rakennusten korkeuden takia on joskus mielekästä erottaa korkeampia paineita vaativia alueita omiksi paineipiireikseen. (RIL 2004).

Vesitornin tapauksessa veden jakelu käyttäjille tapahtuu siten, että vesi pumpataan laitokselta vesitorniin, josta se toimitetaan omalla paineellaan vesijohtoverkostoon. Ylävesisäiliöiden etuna on, että ne ovat Suomessa yleensä alavesisäiliöitä suurempia ja niihin voidaan varastoida vettä alhaisen kysynnän aikana (öisin) ja tyhjentää veden kysynnän ollessa suurimmillaan. Yön aikana pumppaus voidaan toteuttaa tasaisesti, jolloin pumppauksen sähkönkulutukseen ei synny kulutuspiikkejä. Lisäksi ylävesisäiliö toimii Suomessa tavallisesti suuremman tilavuutensa ansiosta ongelmatilanteissa tehokkaammin varavesisäiliönä.

Laitoksilta voi olla mahdollista pumpata vettä suoraan verkostoon ilman erillistä veden varastointia säiliöön. Usein vesisäiliöitä kuitenkin käytetään, sillä niiden avulla vettä voidaan pumpata tasaisemmin. Alavesisäiliöiden tapauksessa vesi pumpataan suoraan säiliöstä käyttäjälle.

Veden painetta saatetaan joutua lisäämään ainakin osassa verkostoa. Tätä tarkoitusta varten verkostossa on paineenkorotusasemia. Paineenkorotusasema on maan pinnalla tai maan alla oleva vedenpumppausasema. Kuvissa 3 ja 4 näkyvät maan päällä oleva paineenkorotusasema ja sen sisällä olevat pumput, joita tässä tapauksessa on kolme erikokoista rinnakkain. Aseman sisällä takaseinällä näkyvät myös pumppuja ohjaavat taajuusmuuttajat.



Kuvat 3 ja 4. Paineenkorotusasema ulkoa ja sisältä (Hämeenlinnan Seudun Vesi).

Rinnakkaiset pumpput ovat usein samankokoisia, vaikka erikokoisia pumppuja suositellaankin energiankäyttöä optimoitaessa. Samankokoiset pumpput käyvät yleensä vuorotellen ja jos toinen hajoaa, toinen pystyy yksinään pumppaamaan kaiken tarvittavan veden. Käytössä on myös paineenkorotusasemia, joilla on vain yksi pumppu.

Suomessa oli vuonna 2001 arviolta 83 614 km vesijohtoverkostoa (Lapinlampi & Raassina 2002a). Verkoston pituus lieene kasvanut siitä tuhansilla kilometreillä, sillä vuosittain vesijohtoverkostoa on tullut lisää yli tuhat kilometriä. Verkostojen toimintaan kuluvan sähkön määrästä ei ole kattavia selvityksiä Suomesta. Ruotsissa vuodelta 2007 olevassa selvityksessä vesijohtoverkoston keskimääräinen ominaissähkönkulutus oli 12,4 kWh/hlö/a ja mediaaniarvo 8,0 kWh/hlö/a (Lingsten & Lundkvist 2008).

3.2 Viemäriverkosto

Jätevesi johdetaan vedenkäyttäjiltä puhdistamolle käsiteltäväksi joko painovoimaisesti tai pumpaamalla. Johtaminen pyritään suorittamaan ensisijaisesti painovoimaisesti. Pumpausta tarvitaan nostamaan jätevesi korkeammalle ja lisäämään sen nopeutta, jonka jälkeen vesi kulkee putkissa taas painovoimaisesti. Paineviemäriissä jätevettä pumpataan paineellisessa viemäriputkessa. Paineviemäreitä käytetään johdettaessa jätevettä alemmasta kohdasta ylempään tai maaston edellyttäessä alituksia.

Jätevedenpumppaamo koostuu pumpuista ja niihin liittyvistä kompressoreista ja pumpppauksen ohjauksesta. Pumppaamoilla sijaitsevat pumput ja ohjauslaitteet toimivat sähköllä ja pumppaamot usein myös lämmitetään sähköllä. Yksittäisen jätevedenpumppaamon pumppaama jätevesimäärä vaihtelee verkoston osissa ja eri vuodenaikoina, sillä useimmiten verkostossa kulkee myös vuoto- ja hulevesiä, jotka kuormittavat verkostoa sateisina aikoina ja lumien sulaessa. (DANVA 2006). Vuoto- ja hulevesin määrä vaihtelee vuosittain sateisuudesta riippuen. Vuonna 2007 vuoto- ja hulevesien määrä Suomessa oli 11 % jätevesivirtaamasta, kun vuonna 1981 vastaava luku oli 40 % (RIL 2003). Vuotovesien määrän vähentäminen on siten yksi keino vähentää verkoston sähkönkulutusta.

Viemäriverkoston pituus oli vuonna 2001 arviolta 40 769 km (Lapinlampi & Raassina 2002). Verkoston lieene nykyään tuhansia kilometrejä pitempi. Viemäröintijärjestelmät voidaan jakaa seka- ja erillisviemäröintijärjestelmiin sekä hulevesiviemäriin. Ruotsissa vuodelta 2007 olevassa selvityksessä viemäriverkoston energiankulutuksen keskiarvo oli 18 kWh/hlö/a ja mediaani 23 kWh/hlö/a (Svenskt Vatten 2007). Jätevedenpumppaamojen sähkönkulutus muodosti 94 % viemäriverkoston sähkönkulutuksesta.

4 PUMPPAUKSEN ENERGIANKULUTUS

4.1 Pumpun energiankulutuksen muodostuminen

Talousveden ja jäteveden pumppaamiseen käytetään monenlaisia pumppuja. Pumput on mahdollista luokitella eri tavoin esim. kokonsa tai toimintaperiaatteensa perusteella. Yleisimpiä vesihuollossa käytettyjä pumppuja ovat keskipakopumput.

Pumpun energiankulutus määräytyy nostokorkeudesta, pumpatusta vesimäärästä ja pumpun hyötysuhteesta. Pumpun toimintaa kuvaavat tärkeimmät tekijät ovat (RIL 2004)

- pumpun tuotto,
- nostokorkeus,
- tehontarve ja
- hyötysuhde.

Pumput muodostavat toiminnallisen kokonaisuuden niitä pyörittävien moottoreiden sekä systeemin säädön ja ohjauksen (esim. taajuusmuuttajan) kanssa. Pumppukokonaisuuden laitteita on saatavissa eri valmistajilta hieman eri laatuina ja eri hyötysuhteilla. Hyötysuhde kertoo, kuinka suuri osa käytetystä energiasta saadaan hyödynnettyä pumppaukseen; loppu muuttuu lämmöksi. Pumppusysteemin kokonaishyötysuhde on pumpun, moottorin ja kokonaisuuden muiden mahdollisten osien, kuten taajuusmuuttajan, hyötysuhteiden tulo. Pienillä eroavaisuuksilla eri osien hyötysuhteissa voi siten olla suuri vaikutus kokonaishyötysuhteeseen.

Pumppujen hyötysuhteet vaihtelevat välillä 30–90 % ja toisaalta samankin pumpun hyötysuhde voi vaihdella huomattavasti kuormituksesta riippuen. Sähkömoottorien hyötysuhteet vaihtelevat välillä 60–97 %; pienitehoisimmilla moottoreilla on alhaisimmat hyötysuhteet. Kuitenkin myös eri valmistajien vastaavantehoisten moottoreiden hyötysuhteissa on eroja. Euroopassa sähkömoottorit luokitellaan hyötysuhteen perusteella kolmeen luokkaan vapaaehtoisien EFF -standardin mukaan. Eri tehoisille pumpuille luokkien rajat on määritelty erisuuruiksi. Korkeimmassa EFF1 -luokassa moottoreiden hyötysuhteet ovat parhaimmat ja niiden käyttö on siten energiatehokkainta.

4.2 Taajuusmuuttajan käyttö

Pumpun ohjaus on perinteisesti hoidettu on-off -ohjauksella. Vaihtoehtoisesti ohjaus voidaan toteuttaa kuristuksella tai taajuusmuuttajan avulla. On-off -käytössä pumpattavaa vesimäärää säädetään pumpun käyttöaikaa säätämällä. Kuristuksessa pumppu toimii täydellä teholla ja säätö tehdään kuristamalla venttiilin avulla pumpun toimittavaa vesimäärää. Suositeltavampaa on kuitenkin säätää pumpun pyörimisnopeutta. (RIL 2004).

Taajuusmuuttaja on sähkölaite, joka kytketään kahden erillisen sähköverkon välille, esim. sähkömoottorin ja valtakunnanverkon välille. Tällöin taajuusmuuttaja vastaa moottorin ohjauksesta ja säätää pumpun pyörimisnopeutta. Sen avulla pumppausnopeutta voidaan vaihdella prosessin tarpeiden mukaan ja vaikuttaa näin pumpun sähkönkulutukseen. Jos taajuusmuuttajaa ei ole, moottori on suoraan kytkettynä sähköverkkoon ja se pyörii jatkuvasti verkon taajuuden määräämällä nopeudella. Taajuusmuuttajaa käytettäessä sähköverkkoon kohdistuva rasitus moottoria

käynnistettäessä ja sammutettaessa pienenee. Taajuusmuuttaja sopii siksi hyvin kohteisiin, joissa on paineiskuja.

Pumppauksessa tarvitaan energiaa sekä veden nostamiseen korkeammalle tasolle (geodeettinen eli staattinen nostokorkeus) että putkessa olevan kitkan tai virtausvastuksen voittamiseen (hydraulinen eli dynaaminen nostokorkeus). Virtausvastus ja sitä kautta pumppaukseen tarvittava energia kasvaa putken halkaisijan pienentyessä. Myös putkeen kertyneillä epäpuhtauksilla on vastaava vaikutus. Taajuusmuuttajan sähköä säästävä ominaisuus perustuu siihen, että kun pumpattavan veden nopeus pienenee, hydraulinen nostokorkeus pienenee vastaavasti, jolloin pumppaukseen tarvittavan energian määrä vähenee. Geodeettiseen nostokorkeuteen ei taajuusmuuttajan avulla pysty vaikuttamaan. Taajuusmuuttaja sopiikin parhaiten kohteisiin, joissa geodeettisen nostokorkeuden osuus kokonaisnostokorkeudesta on mahdollisimman pieni. Geodeettisen nostokorkeuden ollessa 15 % kokonaisnostokorkeudesta taajuusmuuttajalla voidaan saavuttaa 50 %:n energiansäästö verrattuna tilanteeseen, jossa taajuusmuuttajaa ei ole. Jos osuus on 70 %, saavutettava energiansäästö on vastaavasti enää 10 %. (DANVA 2006).

Kun pumpun taajuus pienenee, se pumppaa vettä hitaammin ja on siksi päällä kauemmin, mikä vähentää tarvittavia käynnistyskierroksia. Nopeuden vähentyessä myös akseliin, juoksupyörään ja laakeroihin kohdistuva rasitus vähenee eksponentiaalisesti. Nämä tekijät vähentävät pumpun kulumista ja lisäävät käyttöikää. Itse taajuusmuuttajan käyttöikä on 10–20 vuotta. Tanskalaisessa pumppauskäsikirjassa suositellaan harkitsemaan taajuusmuuttajan käyttöönottoa yli 10 000 kWh/a käytössä oleville pumppuille. Taajuusmuuttajaa voidaan käyttää myös pehmokäynnistimenä. (DANVA 2006).

Uusiin viemäriverkoston pumppauslinjoihin yleensä asennetaan taajuusmuuttaja (Koskinen 2008). Taajuusmuuttajia asennetaan yleensä yksi kutakin pumppua kohden. Jos pumppaamolla on enemmän kuin kaksi pumppua ja kaikki pumput ovat käytössä vain tarvittaessa täyttä pumppauskapasiteettia, kaksikin taajuusmuuttajaa riittää, sillä kaikki pumput käyvät kuitenkin maksimikapasiteetilla täydellä teholla. Joihinkin vanhoihin pumppuihin voi olla jo asennettu taajuusmuuttaja, jota käytetään vain pehmokäynnistimenä. Tällöin ei säästetä energiaa. Asennus on kuitenkin muutettavissa energiaa säästäväksi. (DANVA 2006).

Kuvassa 5 on vesilaitoksella olevia taajuusmuuttajia, joiden avulla ohjataan paitsi laitoksella olevia pumppuja, myös ilmastustorneihin ilmaa syöttäviä puhaltimia.



Kuva 5. Taajuusmuuttajia (Hämeenlinnan Seudun Vesi).

Taajuusmuuttajan käyttö voi olla epäedullista, jos se on asennettu kohteeseen, jossa geodeettinen nostokorkeus on suuri. Lisäksi taajuusmuuttajaa käytettäessä täytyy varmistua, että pumppu toimii hyvän hyötysuhteen alueella käytössä olevilla taajuuksilla. Jos pumpun toimintapiste siirtyy taajuusmuuttajan käyttöänoton myötä huonon hyötysuhteen alueelle, pumppu kuluttaa paljon sähköä. Taajuusmuuttaja ei siis ole ratkaisu kaikkiin pumppauksen sähkönkäytön vähentämistä koskeviin kysymyksiin.

4.3 Pumppauksen energiatehostaminen

4.3.1 Suunnittelu ja pumppujen hankinta

Pumppauksen sähkönkulutus riippuu paljon sekä pumpputyypin valinnasta että pumpun mitoituksista. Suunnittelulla on suuri merkitys pumppaamon tai paineenkorotusaseman toiminnan ja sähkönkulutuksen kannalta, sillä huonosti suunnitellun pumppukokonaisuuden (väärän kokoinen pumppu yhdistettynä tehottomaan ohjaukseen) on arvioitu kuluttavan yli kolminkertaisesti sähköä energiatehokkaaseen ratkaisuun verrattuna (Kjellén & Andersson 2002).

Hyvä suunnittelu on olennaista myös verkoston mitoituksessa. Uusissa kohteissa, joissa verkosto ja pumppaamot tai paineenkorotusasemat suunnitellaan samanaikaisesti, saavutetaan optimaalinen hyötysuhde (J. Räsänen 23.3.2009). Verkostossa tapahtuu kitkasta johtuvia painehäviöitä, joiden minimointi vähentää pumppaustarvetta, joten riittävän väljä mitoitus olisi tässä mielessä paikallaan (Kjellén & Andersson 2002). Käytännössä putkiston mitoituksessa joudutaan kuitenkin miettimään myös taloudellisia tekijöitä ja ylimitoitettuihin putkiin liittyy lisäksi ongelmia, esim. viipymät kasvavat ja sitä kautta huuhtoutuvuus heikkenee. Hyvä suunnittelu yhdistää nämä ristiriitaiset tekijät onnistuneesti.

Pumppujen käyttöikä on 10–20 vuotta ja pumpput tulee mitoittaa käyttöikä huomioiden. Hyvissä olosuhteissa esim. talousvettä pumpattaessa pumppu kestää yleensä kauimmin. Jos pumpput mitoitetaan mitoitusvirtaaman mukaisesti, ne saattavat hyvin poistua käytöstä ennen kuin pumpattava vesimäärä ehtii saavuttaa kyseisen virtaaman, joka useimmiten on 20 vuoden päässä laitoksen suunnittelusta. Tällöin pumppu on koko

käyttöikänsä ajan ylimitoitettu, se toimii alhaisella hyötysuhteella ja kuluttaa paljon sähköä. (Kjellén & Andersson 2002).

Koska pumppujen hyötysuhteissa on suuria eroja, huolellisella pumpun valinnalla on mahdollista säästää paljon energiaa. Aivan uusien jätevesipumppujen hyötysuhdetta on saatu parannettua 5–10 prosenttiyksikköä, joten jo pumpun uusimisella on mahdollista saada aikaan tietty energiasäästö. Pumpun hyötysuhde on olennainen tekijä kohteissa, joissa moottori on paljon käytössä ja kohteissa, joiden nimellisteho on suuri, sillä näissä kohteissa kuluu paljon sähköä. Hieman alhaisemman hyötysuhteen omaava pumpu kuluttaa tällaisissa kohteissa pitkällä aikavälillä enemmän sähköä kuin hyötysuhteeltaan parempi pumpu. Moottoreiden valmistajilta voi tarjouskilpailussa pyytää takuuta hyötysuhteesta. (Kjellén & Andersson 2002; J. Levälampi 8.12.2009).

Toiminta moottoreiden optimialueella ei ole käytännössä jatkuvasti mahdollista. Pumpattavat vesimäärät vaihtelevat ja pumppaamot, paineenkorotusasemat ja laitokset voivat olla ylimitoitettuja. Jos vaikuttaa siltä, että moottoria käytetään vajaakuormalla suuren osan ajasta, voidaan harkita kahden rinnakkaisen yksikön yhdistelmää, joista toinen on esim. käytössä pumpattavan vesimäärän ollessa vähäinen ja toinen vesimäärän ollessa suuri. Pumppauksen sähkönkulutusta voi olla mahdollista alentaa myös taajuusmuuttajan tai pumppujen ajoittaiskäytön avulla tai vaihtamalla ylimitoitettuja yksiköitä pienempiin. (Kjellén & Andersson 2002).

4.3.2 Pumppujen käyttö ja huolto

Monilla pumpun käyttöön ja huoltoon liittyvillä toimilla voidaan vaikuttaa pumppujen energiankulutukseen ja käyttöikään. Pumppujen tuotto ja etenkin hyötysuhde laskevat käytön myötä selvästi, jollei pumppua huolleta riittävästi. Ajallaan toteutetuilla määräaikaishuolloilla ehkäistäänkin siten turhaa sähkönkulutusta. Vanhan, huoltamattoman pumpun hyötysuhde voi olla yli 10 prosenttiyksikköä uutta, vastaavaa pumppua pienempi juoksupyörän ja pumppupesän kulumien vuoksi. Lisäksi huoltamatta jääneen pumpun käyttöikä lyhenee – lisääntynyt kavitaatio ja tärinä kuluttavat pumppua. (J. Levälampi 8.12.2009).

Pumppaamon toiminnan energiatehokkuutta voidaan arvioida muuntamalla sen sähkönkulutus muotoon $\text{kWh/m}^3/100$ m nostokorkeutta. Kun halutaan arvioida yksittäisen pumppaamon toiminnan energiatehokkuutta, arvioinnin täytyy tapahtua pumppaamokohtaisesti eikä eri pumppaamoiden energiankäyttöä voi suoraan verrata keskenään. Pumppaamon tilanteen kartoittamiseksi tarvitaan pitemmältä ajalta luotettavia vertailutietoja sähkönkulutuksen suuruudesta, pumpatun veden määrästä, pumppujen samanaikaisesta käytöstä ja sadannasta. Lisäksi tarvitaan tiedot ainakin pumppujen päivittäisestä käyttöajasta ja käynnistymismääristä. Sähkönkulutuksen määrää seuraamalla huomataan, jos pumppaus ei enää toimi optimaalisesti. Toiminnan häiriöstä voi kertoa esim. se, jos rinnakkaiset pumput ovat päällä enemmän kuin ennen, käynnistyvät tavallista useammin, toiminta-aika ei vastaa tyypillistä vuodenaajan toimintaa tai toinen pumpuista on käynnissä toista enemmän. (DANVA 2006).

Pumppaamoiden ja paineenkorotusasemien energiankäytön kartoittaminen kannattaa aloittaa niistä kohteista, jotka kuluttavat eniten sähköä eli suuritehoisimmista ja pisimpiä aikoja päällä olevista pumpuista. Energiankulutusta selvitettyä voidaan keskittyä niihin pumppaamoihin ja paineenkorotussemiin, joiden pumppujen yhteenlaskettu teho on yli 10 kW. Lisäksi voidaan tarkistaa vanhat, usein ylimitoitettut

jätevedenpumppaamot. Vanhoja pumppuja uusittaessa on tavallista, että tilalle mitoitetaan pienempitehoinen pumppu ja lisätään rinnakkaisten pumppujen määrää, jos vain pumppukaivossa on tilaa. Tällöin maksimikuormitustilanteissa lisäpumppu tai -pumput auttavat koko virtaaman pumppaamisessa. (J. Levälampi 8.12.2009; J. Räsänen 23.3.2009).

4.3.3 LVI pumppaamoilla

Pumppaamojen lämmitys kuluttaa yleensä osan käytetystä sähköstä. Routa ja ilmankosteuden kondensoituminen pinnoille ovat pääsyyt siihen, että lämmitystä käytetään pumppaamoilla. Pumppausaseman toiminnan kannalta riittävä lämpötila on 4–5 °C; periaatteena on, että asema ei saa päästä jäätymään. Kondensoitumista voidaan estää normaalien ilmanvaihtoaukkojen lisäksi kuivaimilla tai eristeillä. Kuivain kuluttaa vain murto-osan lämmityksen tarvitsemasta sähköstä. Toisaalta ohjauskeskusta lukuun ottamatta pumppaamon laitteet (esim. taajuusmuuttajat ja muu elektroniikka) kestävät jonkin verran kosteutta, joten jos ohjauskeskus sijaitsee maan päällä omassa kytkinkaapissaan, ei pumppaamolla välttämättä tarvita edes kuivausta. Jos käsienpesuvesi lämmitetään lämminvesivaraajalla, varaaja voidaan ajoittain kytkeä pois päältä tai vaihtaa lämmittimeen, joka kuluttaa sähköä lähinnä vain silloin, kun vettä juoksetetaan. (DANVA 2006; J. Räsänen 23.3.2009).

Pumppaamoiden ja paineenkorotusasemien lämpötilaa asetettaessa on toisaalta tarpeen huomioida energiatehokkuuden ohella myös asemilla työskentelevien työolosuhteet. Pumppaamolla tai paineenkorotusasemalla työskentelyn täytyy olla talvisinkin mahdollista ilman, että esim. kädet kohmettavat. Kuitenkin jo lämpötilan laskeminen muutamalla asteella tuottaa säästöä sähkönkulutuksessa. Keskeistä olisi maanpäällisten pumppaamojen ja paineenkorotusasemien rakennusvaiheessa kiinnittää huomiota aseman rakenteisiin. Aseman tulisi olla riittävän hyvin eristetty, että sen lämmittäminen olisi mahdollista toteuttaa tehokkaasti. Toistaiseksi rakenteiden eristävyydelle ei ole olemassa vaatimuksia.

Paineenkorotusasemilla tai jätevedenpumppaamoilla voi joskus olla koneellinen ilmastointi. Sitäkin voidaan muokata vähän sähköä kuluttavaksi. Tapauskohtaisesti voidaan arvioida, tarvitaanko pumppaamolla tai paineenkorotusasemalla ilmastointia lainkaan tai olisiko mahdollista, että ilmastointi olisi päällä vain esim. silloin, kun paikalla ollaan käymässä.

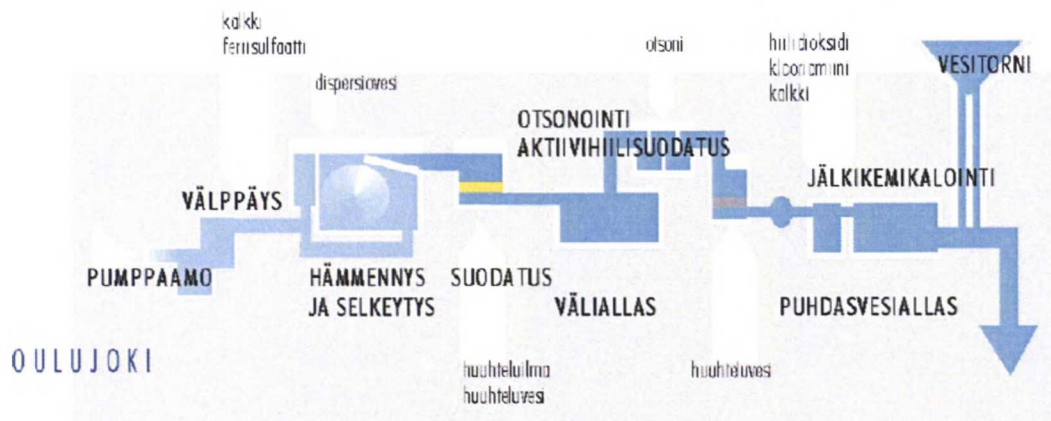
5 VEDEN HANKINNAN JA KÄSITTELYN ENERGIANKULUTUS

5.1 Yleistä

Suomessa käytettävästä talousvedestä n. 61 % on valmistettu pohjavedestä ja 39 % pintavedestä. Tekopohjavesi muodostaa n. 10 % jaetusta vedestä ja osuus on voimakkaassa kasvussa. Vesijohtoverkoston piirissä elää 4,7 miljoonaa suomalaista eli n. 90 % väestöstä. Yli 50 asukasta palvelevia vedenottamoita on Suomessa n. 1900. Näistä yhden vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella voi olla useita. (Suomen ympäristökeskus 2009).

Pohja- ja pintavesi edellyttävät erilaista käsittelyä ennen verkostoon syöttämistä. Pohjavesi voi sellaisenaankin olla verkostoon kelpaavaa, joskin yleensä vähimmäiskäsittelynä alkaliteettia täytyy nostaa putkiston syöpymisen estämiseksi. Lisäksi vesi voi vaatia muuta käsittelyä. Joskus pohjavesi voi sisältää jotain erityiskäsittelyä vaativaa epäpuhtautta kuten fluoridia, rautaa, mangaania, arseenia tai radonia. Käsittelyn lopuksi pohjavesi voidaan desinfioida mutta se ei aina ole välttämätöntä. (Suomen ympäristökeskus 2009).

Pintavesi vaatii pohjavettä enemmän käsittelyä; siitä pitää poistaa kiintoainetta ja se täytyy aina desinfioida käsittelyn lopuksi. Kiintoainetta voidaan poistaa saostuksen, selkeytyksen, flotaation ja suodatuksen avulla. Lisäksi veden pH:ta täytyy säätää. Epäpuhtauksia voidaan poistaa myös esim. otsonoinnin tai aktiivihiiლისuodatuksen avulla. Kuvassa 6 on Oulun Veden pintavesilaitoksen prosessikaavio



Kuva 6. Oulun Veden vedenpuhdistuksen prosessikaavio (Oulun Vesi 2009).

Veden hankinnan ja käsittelyn päästöt syntyvät sähkön- ja lämmönkäytön seurauksena. Sähköä kuluu vesilaitoksilla raakaveden pumppaamiseen, vedenkäsittely-yksiköiden toimintaan ja käsittely-yksiköiden välillä tai laitoksen alueella tapahtuvaan pumppaukseen. Lämpöä käytetään laitostilojen lämmittämiseen.

Laitoksilla, joilla talousvesi valmistetaan pintavedestä, raakavesi pumpataan järvestä tai joesta. Aina raakavettä ei tarvitse pumpata vaan se voi tulla vesilaitokselle myös painovoimaisesti. Saman vesihuoltolaitoksen piirissä voi toimia useita eri vedenottamoita ja käsittelylaitoksia.

5.2 Laitteiston sähkönkulutus

Suomesta on vähänlaisesti tutkittua tietoa vesilaitosten energiankäytön jakautumisesta eri toimintojen välille. Kanadassa on tutkittu Toronton vedenpuhdistusjärjestelmästä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Tarkastelu perustui elinkaariarviointiin ja siinä huomioitiin vedenpuhdistuslaitoksen toiminta ja kemikaalien tuotanto ja kuljetukset. Ehdoton valtaosa energiasta (94 %) kului ja kasvihuonekaasupäästöistä syntyi (90 %) vedenpuhdistuslaitoksen toiminnasta. Veden pumppaus laitoksella taas aiheutti 60 % vedenpuhdistuksen toiminnallisista rasitteista. Sen sijaan kuljetusten merkitystä kasvihuonekaasupäästöjen muodostumisen kannalta voidaan tutkimuksen mukaan pitää merkityksettömänä. (Colombo *et al.* 2007). Suomessa Helsingin Veden vesilaitosten tiedot ovat hyvin samansuuntaisia. Vanhakaupungin vesilaitoksella n. 58–62 % laitoksella käytetystä energiasta kuluu korkeapainepumppaukseen, Pitkälän vesilaitoksella vastaavasti 49–52 %. Vanhakaupungin laitoksella lisäksi kokonaissähkönkulutuksesta 5 % kuluu otsonointiin ja 14 % välipumppaukseen. (S. Autere 4.2.2009).

Vesilaitoksen energiantarpeen suuruuteen voidaan vaikuttaa esim. siten, että suunnitellaan aluksi pienempi laitos ja jätetään alueelle laajennusmahdollisuus. Tällöin voidaan toimia virtaamaa vastaavissa olosuhteissa kauemmin ja laajentaa laitosta vasta, kun siihen todella on tarve. Vastaavasti pumputkin on silloin helpompi mitoittaa todellisen pumppaustarpeen mukaan. Prosessivalinnoissa energiankulutukseen voidaan vaikuttaa mittausten ja ohjauksen avulla, jolloin saadaan ohjattua prosessia tarkemmin.

5.2.1 Pumppaus

Veden pumppaaminen on vesilaitoksilla keskeinen sähkönkuluttaja. Esim. pienellä vesilaitoksella, jossa veden käsittelytarve on vähäinen, varsinaiset vedenkäsittelylaitteet eivät kuluta paljon sähköä. Joillakin laitoksilla vedenpuhdistusprosessissakin voi olla suuritehoisia pumppuja, jotka pumppaavat vettä yksikköprosessista toiseen ja joiden sähkönkulutus on laitoksen kannalta merkittävää. Näissä pumpuissa voidaan käyttää taajuusmuuttajia, samoin kuin esim. ilmastusilmaa tuottavissa puhaltimissa ja dispersiovesipumpuissa. Yleisesti ottaen vesiprosessissa tarvittavat pumput on jätevesipumppuja helpompi mitoittaa, sillä virtaamat ovat paremmin tiedossa. (J. Levälampi 12.2009).

Raakavedenottoa on mahdollista tehostaa eri tavoin. Porakaivopumppujen yleistymisen pohjavedenottamoilla tuo mukanaan sähkön säästymisen mahdollisuuden, sillä pumpun tarvitsema teho voi vähentyä alle puoleen aiemmasta. Pintavettä raakavetenä käytävillä laitoksilla raakavedenotossa voi olla edullista käyttää taajuusmuuttajaa, jos pumpattavan veden määrä vaihtelee. Käytöstä on se etu, että se tasaa käynnistyessä tapahtuvan sähkönkulutuspiikin, mikä pienentää sähkön siirtomaksun suuruutta ja voi myös tehdä taajuusmuuttajasta kannattavan. (J. Räsänen 23.3.2009).

5.2.2 UV-lamput

UV-säteilyä käytetään veden desinfioimiseen. Suomessa menetelmä on käytössä lähes yksinomaan talousveden desinfioinnissa, joskin myös puhdistetun jäteveden desinfioiminen olisi mahdollista esim. kohteissa, joissa vastaanottava vesistö on herkkää tai lähellä on asutusta. Desinfioinnissa vesi virtaa UV-lamppujen ohi, jolloin säteily inaktivoi vedessä mahdollisesti olevat taudinaiheuttajat. Käytettävien UV-lamppujen päätyypit ovat matalapainelamput ja keskipainelamput. Nämä lamput eroavat toisistaan lamppujen sisällä olevan elohopean kaasunpaineen suhteen. Matalapainelamput sopivat

hyvin pienten virtaamien käsittelyyn ja ne ovat suhteellisen edullisia. Niiden käyttöikä on pitkä ja noussut edelleen viime vuosina, 8 000–12 000 h. Keskipainelamppuja tarvitaan vähemmän kuin matalapainelamppuja saman desinfiointituloksen saavuttamiseen. Niiden käyttöikä on kuitenkin lyhyempi, 3 000–5 000 h, joskin uusimmilla tekniikoilla ja tehonsäädöllä on saavutettu huomattavasti pidempiäkin käyttöaikoja. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2003; E. Antila 1.4.2009).

UV-lamppujen teho heikkenee iän myötä. Desinfiointituloksen varmistamiseksi lamput mitoitetaan niiden käyttöiän lopussa tuottaman valotehon mukaan. Tämän seurauksena käyttöiän alussa lamput toimivat ylitheholla. Sähkötehoa voidaan kuitenkin säätää kuristimen avulla, mikä mahdollistaa energiansäästön ja pidentää samalla lampun ikää. Tehonsäätö voidaan toteuttaa käsikäyttöisenä tai automaattisena. Automaattiohjatussa järjestelmässä oikea teho määräytyy veden laadun ja virtaaman perusteella. Tehonsäätö sopii hyvin kohteisiin, joissa vesimäärät ovat suuria ja vaihtelevat. Keskipainelamput kuluttavat matalapainelamppuja enemmän sähköä, mistä johtuen tehonsäädöstä syntyy säästöä lähinnä niiden kohdalla. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2003; E. Antila 1.4.2009).

Sytytysten ja sammutusten määrä vaikuttaa UV-lampun käyttöikänsä. Yksi sytytys ja sammutus vastaavat tunnin käyttöä. Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen (2003) tekemän selvityksen mukaan suomalaisilla vesilaitoksilla UV-laitteista on hyviä kokemuksia ja laitteiden sähkönkulutuksen osuus jää hyvin vähäiseksi, jos laitoksella on paljon pumppausta. Taulukossa 3 on matala- ja keskipainelamppujen sähkönkulutuksia. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2003).

Taulukko 3. Matala- ja keskipainelamppujen sähkönkulutus (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2003).

Lampputyyppi	Sähkönkulutus
	Wh /m ³
Matalapainelamput	5–10
Keskipainelamput	20–40

Matalapainelamput tuottavat saman desinfiointituloksen vähäisemmällä energiankulutuksella, mistä johtuen niiden käyttöä voidaan pitää energiatehokkaampana.

5.2.3 Otsonaattorit

Otsoni (O₃) on voimakas kemiallinen hapetin, mistä syystä sitä voidaan hyödyntää talousveden valmistuksessa. Otsonointia käytetään hajujen, makujen, värin, raudan ja mangaanin poistoon ja desinfiointiin. (RIL 2004; Hammer & Hammer 1996). Otsonaattorit tuottavat otsonia joko ilmasta tai hapesta. Hapetta raaka-aineena käyttävät otsonaattorit ovat pienempiä ja niiden energiantarve on vähäisempi. Otsonaattorien toiminta edellyttää myös otsonintuhoajan käyttöä.

Laitetoimittaja HyXo:n Wedeco -merkkisten, pienten, ilmasyötteisten otsonaattorien sähkönkulutus on laitetoimittajan mukaan täydellä otsonintuottokapasiteetilla tyypillisesti 17–80 Wh/g O₃. Vastaavasti pienten, happisyötteisten otsonaattorien sähkönkulutus on täydellä otsonintuottokapasiteetilla tyypillisesti 9–25 Wh/g O₃. Hapentuotto on näissä laitteissa 2–400 g/h. (muokattu lähteestä Hyxo 2009).

Oulun Veden Hintan ja Kurkelanrannan vesilaitoksilla käytössä olevia otsonointiprosesseja tutkittiin vuonna 2006 valmistuneessa diplomityössä. Hintan laitoksella otsoni valmistetaan ilmasta, Kurkelanrannan laitoksella hapestaa. Molemmilla laitoksilla laitteet tuottavat otsonia maksimikapasiteetilla 1500 g O₃/h. Työssä tarkasteltiin mm. otsonaattoreiden sähkönkulutuksesta aiheutuneita kustannuksia tuotettua otsonikiloa kohden. Kummallakin laitoksella otsonintuotto ja tuottamiseen kulunut sähkö vaihtelivat eri kuukausina. Kurkelanrannan laitoksella otsonintuoton sähkönkulutus vaihteli välillä 17–62 Wh/ g O₃, Hintan laitoksella välillä 28–49 Wh/ g O₃. Kurkelanrannan laitoksella oli tarkastelujakson alussa ongelmia, mistä johtuen sähkönkulutus oli aluksi suurempaa. Korjauksen jälkeen sähkönkulutus oli maksimissaan 42 Wh/ g O₃. Keskimäärin otsonintuotto oli Kurkelanrannan happisyytöisellä laitteistolla (korjausten jälkeen) 24 Wh/ g O₃ ja Hintan ilmasytöisellä laitteistolla 37 Wh/ g O₃. (Iivari 2006).

Helsingin Veden Pitkäkosken vesilaitoksella on ollut vuodesta 2004 käytössä SMO 600S happiotsonaattori. Tätä ennen laitoksella käytettiin ilmaotsonointia. Otsonoinnin sähkönkulutus on nykyään n. 60–70 % aiemmasta ilmaotsonoinnin sähkönkulutuksesta. Ilmaotsonoinnin sähkönkulutus vaihtelee välillä 6,8–19,8 Wh/ g O₃. Tyypillisesti sähkönkulutus on laitoksella alle 10 Wh/ g O₃ ja esim. kun otsonointiteho on 130 g O₃/Nm³ käsiteltävää vettä, kulutus on 8 Wh/ g O₃. Maksimikapasiteetilla otsonintuoton tehontarve on 80 kW, minkä lisäksi muuntaja tarvitsee tehoa 8 kW. (H. Härkki 3.4.2009).

5.2.4 Flotaatio

Flotaatiota käytetään erottamaan vedestä kiintoaine ja nestemäiset partikkelit. Flotaatiota käytetään talousveden valmistuksessa tyypillisesti kiintoaineflokkien poistoon flokkauksen jälkeen. Sitä voidaan käyttää vastaavasti myös jätevedenpuhdistuksessa kiintoaineen poiston viimeistelyyn. Flotaatio voidaan toteuttaa erikokoisilla ilmakuplilla. Paras puhdistustulos saadaan käyttämällä hyvin pieniä, halkaisijaltaan 40–70 µm:n kokoisia ilmakuplia. Tällöin energiantarve on 40–80 Wh/m³. (RIL 2004).

5.2.5 Kalvosuodatustekniikat

Kalvosuodatustekniikkaa käytetään veden ja siinä olevien epäpuhtauksien erottamiseen. Menetelmää voidaan käyttää sekä talousveden valmistukseen että jäteveden puhdistamiseen, joskin käyttö talousvesipuolella on tavallisempaa. Kalvosuodatustekniikat perustuvat puoliläpäisevän kalvon käyttöön ja ne voidaan jaotella kalvon huokoskoon mukaan mikro-, ultra-, ja nanosuodatukseseen ja käänteisosmoosiin. Näiden tekniikoiden erottelukyky vaihtelee – erottelukyky on tarkin käänteisosmoosisissa ja karkein mikro- ja ultrasuodatuksessa.

Kalvosuodatustekniikka ei ole vielä yleistynyt Suomessa. Joitakin laitoksia kuitenkin on olemassa ja tekniikan hinnan laskun myötä kalvosuodatuksen voidaan odottaa yleistyvän. Nanosuodatus on Suomessa käytössä orgaanisen aineen poiston tehostamisessa. Käänteisosmoosia puolestaan käytetään fluoridin ja alumiinin poistamiseen pohjavedestä ja suolan poistamiseen merivedestä. (Keskitalo & Kettunen 2001; Liikanen 2007). Kalvosuodatus kuluttaa sähköä, sillä puhdistettava vesi syötetään kalvolle paineistettuna. Sähkönkulutuksen suuruus vaihtelee paljon kalvotyyppin mukaan.

Kempeleen Vesihuollon Tuohinon vesilaitoksella on käytössä nanosuodatus. Raakavettä pumpataan laitokselle 42–46 m³/h, mistä tuotevettä saadaan 30–36 m³/h. Laitteiston teho on 15–26 kW ja sähkönkulutus keskimäärin 0,44–0,75 kWh/m³ tuotevettä. Kyseiset arvot on laskettu keskimääräisistä päiväärhoista. (H. Roikola 7.4.2009).

Kymenlaakson Vesi Oy:llä on raakaveden fluoridipitoisuuden alentamiseksi käytössä käänteisosmoosilaitteisto Kuivalan tekopohjavesilaitoksella. Käänteisosmoosilaitteistolla käsitellään n. 25–32 % koko tekopohjavesilaitoksen virtaamasta. Tämän jälkeen tuotevesi sekoitetaan tekopohjaveteen ja yhdistetty virtaama ohjataan jälkikäsittelyyn. Normaalisti tuoteveden määrä on n. 280–300 m³/h, laitoksen maksimikapasiteetti on 400 m³/h.

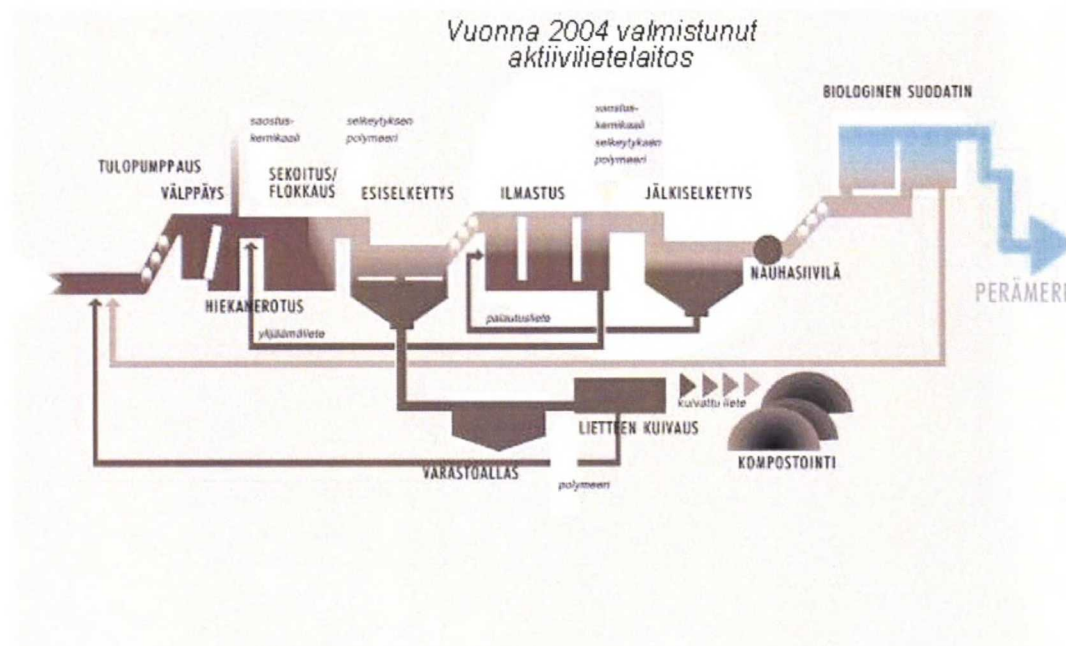
Kyseinen kalvosuodatuslaitteisto kulutti vuonna 2008 kuukausitasolla sähköä 0,51–0,71 kWh/m³. Sähkönkulutus sisältää varsinaisten suodatinkoneikkojen sähkönkulutuksen lisäksi raakaveden paineenkorotuksen suodatinlaitteistolle, tuoteveden pumppauksen jälkikäsittelyyn, ilmastoinnin ja talon muun sähkönkulutuksen (lämmityksen, valaistuksen ja muun käyttösähkön). (T. Leppänen 21.3.2009).

6 JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN ENERGIANKULUTUS

6.1 Yleistä

Jätevedenpuhdistamoiden toiminnasta syntyy päästöjä sekä energiankäytön seurauksena että laitoksilta muodostuvina haihduntapäästöinä. Saksassa on arvioitu maan reilun 10 000 jätevesilaitoksen vastaavan n. 0,7 %:a maan sähkönkulutuksesta (Haber Kern *et al.* 2008). Ruotsissa jätevesilaitosten ja viemäriverkoston yhteenlasketuksi sähkönkäytöksi on vastaavasti arvioitu n. 0,6 % maan sähkönkulutuksesta (Lingsten & Lundkvist 2008). Jätevesihuollon on Ruotsissa arvioitu olevan jonkin verran vesilaitoksia ja vesijohtoverkkoa merkittävämpi sähkönkuluttaja – jätevesilaitosten ja viemäriverkoston osuus koko sektorin sähkönkulutuksesta on. n. 60 % (Lingsten & Lundkvist 2008). Jätevedenpuhdistamot kuluttavat lisäksi lämpöä. Lämpöä tarvitaan toimistotilojen lämmittämiseen, mädättämön lämmittämiseen silloin, kun mädätys on laitoksella käytössä ja prosessitilojen lämmittämiseen katetuilla jätevedenpuhdistamoilla.

Suomalaisia jätevedenpuhdistamoista suuri osa on aktiivilietelaitoksia. Jonkin verran on muitakin ratkaisuja, kuten biosuotimia ja bioroottoreita. Erot puhdistusvaatimuksissa ja laitoksille tulevan kuormituksen määrässä vaikuttavat laitosten energiatarpeeseen. Prosessien tai prosessinosien energiatehokkuutta koskevaa vertailua on kuitenkin mahdollista tehdä, kun huomioidaan käsitellyn vesimäärän lisäksi myös puhdistusvaatimukset ja erot kuormituksessa. Kuvassa 7 on esitetty Oulun Veden jätevedenpuhdistuksen prosessikaavio. Jätevedenpuhdistusprosessi on tyypillinen lukuun ottamatta prosessin lopussa olevaa biologista suodatinta, jota kaikilla laitoksilla ei ole.



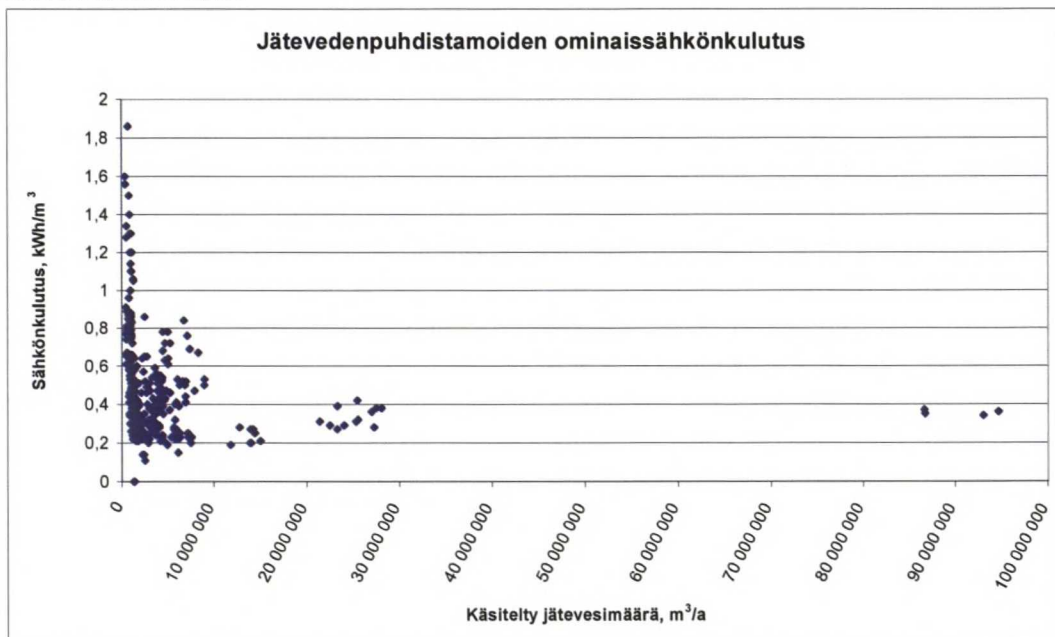
Kuva 7. Oulun Veden jätevedenpuhdistuksen prosessikaavio (Oulun Vesi 2009).

6.2 Puhdistamon koon vaikutus energiankulutukseen

Jätevesi pystytään tavallisesti puhdistamaan suurissa laitoksissa suhteessa vähemmällä energialla kuin pienissä laitoksissa (Haber Kern *et al.* 2008). Saksassa yli 10 000 AVL

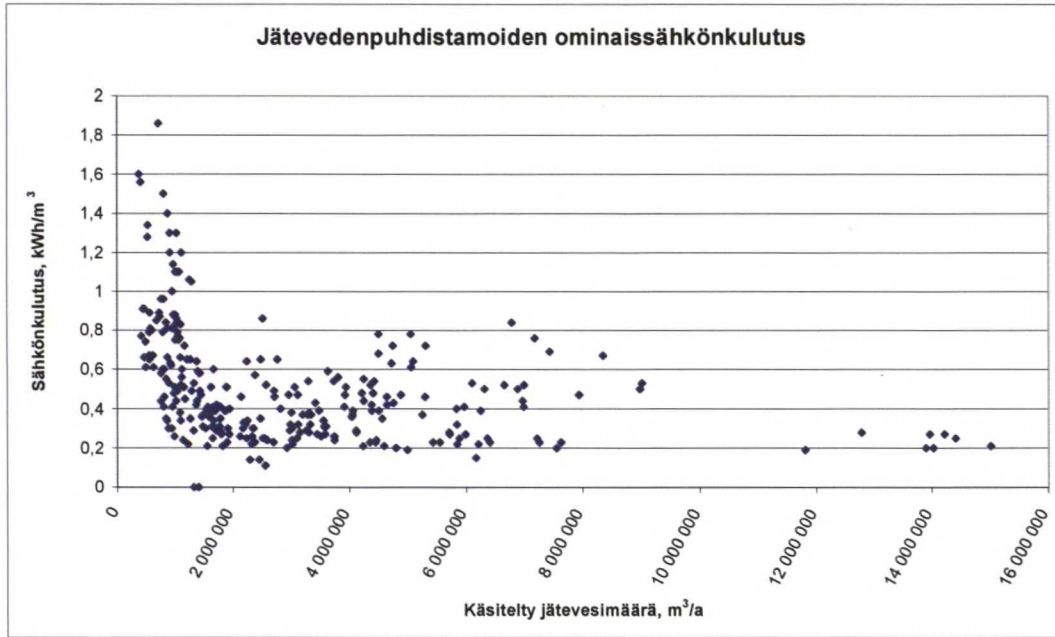
puhdistamoilla sähkön keskikulutus on 32–35 kWh/AVL/a, kun se pienemmillä laitoksilla on yleensä selvästi suurempi (Haberker *et al.* 2008). Samankokoisten laitosten sähkönkulutuksessa on kuitenkin suuria eroja ja osa pienistäkin laitoksista on hyvin energiatehokkaita (Müller *et al.* 1999).

Suomessa kartoitettiin vuonna 2004 julkaistussa PUTOUS -tutkimuksessa valtaosa yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoista. Kartoituksen ulkopuolelle jätettiin vain huomattavia määriä teollisuusjätevesiä käsittelevät laitokset. Muiden tietojen ohella tutkimuksessa selvitettiin jätevedenpuhdistamoiden sähkönkäyttöä. Sähkönkäyttötietoja koottiin laitosten vuositason tietoina ja luvut koskevat siten eri puhdistusvaatimukset omaavia laitoksia ja sisältävät esim. vaihtelevasti lämmityssähköä ja lietteenkäsittelyn sähkönkulutusta. Kuvassa 8 on esitetty tutkittujen laitosten ominaissähkönkulutukset. Kuva sisältää tiedot vuosilta 1999–2002, joten kutakin laitosta kohden on neljä eri sähkönkulutustietoa.



Kuva 8. Suomalaisen, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutus kWh/m³. (Kangas 2003).

Kuvassa 9 on esitetty samat sähkönkulutustiedot ilman kaikkein suurimpia laitoksia.



Kuva 9. Suomalaisten, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutus kWh/m³, suurimmat laitokset poistettu (Kangas 2003).

Kuvista 8 ja 9 ilmenee, että kaikkein suurimpien, yli 12 miljoonaa m³ jätevettä vuodessa käsittelevien jätevedenpuhdistamoiden käsiteltyyn vesimäärään suhteutettu sähkönkulutus on alhaisin, n. 0,2–0,3 kWh/m³. Kuitenkin osa huomattavasti pienemmistäkin, n. 1 miljoonaa m³ jätevettä vuodessa käsittelevistä laitoksista, pääsee samaan sähkönkäytön tehokkuuteen. Vain alle 1 miljoonaa m³ jätevettä vuodessa käsittelevien laitosten sähkönkäyttö nousee selvästi tätä korkeammaksi.

Kuvassa 10 on esitetty jätevedenpuhdistamoiden sähkön ominaiskulutukset pysyvyyskäyrän muodossa. Kuvasta on nähtävissä, että tutkittujen laitosten sähkönkulutus oli yleensä välillä 0,2–0,9 kWh/m³.



Kuva 10. Suomalaisten, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden ominaissähkökulutuksia suhteutettuna puhdistettuun vesimäärään (Kangas 2003).

6.3 Sähkökulutustietojen vertailuarvoja

Jätevedenpuhdistamoiden keskimääräinen ominaissähkökulutus on Saksassa 35 kWh/AVL/a (Haber Kern *et al.* 2008). Yli 10 000 AVL puhdistamoilla keskimääräinen ominaissähkökulutus on alhaisin, 32–35 kWh/AVL/a. Saksassa jätevedenpuhdistamoiden energiankulutuksen säästöpotentiaaliksi on arvioitu korkeimmillaan jopa 70 %. Käytännössä realistisena sähkönsäästöpotentiaalina pidetään 10–20 % laskua sähkön kokonaiskulutuksessa. Tämä johtuu siitä, että osa laitosten energiatehottomuudesta on seurausta esim. suunnitteluvirheistä tai rakennusaikaisista virheistä, jolloin niistä johtuvaan energiantarpeen kasvuun ei käytännössä voida vaikuttaa. Jos laitoksen toiminta on täysin optimoitu, pidetään mahdollisena saavuttaa sähkökulutuksen taso 18–25 kWh/AVL/a. (Haber Kern *et al.* 2008).

Ruotsissa Olsson (2008) on Svenskt Vattenin toimesta kartoittanut laitosten energiankulutusta tutkimuksessa, joka kattoi n. 40 % viemäriverkkoon liittyneistä. Tutkimuksessa jätevedenpuhdistamoiden keskimääräiseksi sähkökulutukseksi saatiin 90–100 kWh/hlö/a ja lämmönkulutukseksi vastaavasti 43–48 kWh/hlö/a (Olsson 2008).

Taulukossa 4 on saksalaisten laitosten energiakartoitusta varten annetut tavoite- ja toleranssiarvot mitoitukseltaan yli 10 000 AVL laitoksille (Haber Kern *et al.* 2008).

Taulukko 4. Sähkökulutuksen tavoite- ja toleranssiarvoja mitoitukseltaan yli 10 000 AVL:n laitoksille. Biokaasun ominaistuotto koskee myös yhteismädätyslaitoksia (Haber Kern *et al.* 2008).

		Tavoitearvo	Toleranssiarvo
Sähköntarve			(AVL yli 10 000)
- kaikkiaan	kWh/AVL/a	18	30
- ilmastus	kWh/AVL/a	10	16
Biokaasun ominaistuotto	l/AVL/d	30	20
Sähkökulutuksen omavaraisuusaste	%	100	60

Pumppauksen sähkönkulutus	Wh/m ³ /m	4	6
---------------------------	----------------------	---	---

Taulukosta 4 nähdään, että tavoitearvoja on määritelty mm. biokaasun ominaistuotolle ja että sähkönkäytön suhteen jätevedenpuhdistamo on ihannetilanteessa täysin omavarainen. Laitoksilta, joilla on käytössä mädätys tai joiden lietettä viedään yhteismädätykseen, edellytetään korkeaa toiminnan tasoa: Biokaasun hyödyntämisaste saisi olla 99 % ja lämmönkäytön omavaraisuusaste 98 % (Thöle *et al.* 2008).

6.4 Puhdistusprosessin vaikutus energiankulutukseen

6.4.1 Puhdistustavoitteiden vaikutus energiankulutukseen

Puhdistamolla käsiteltävän jätevesimäärän lisäksi energiantarpeeseen vaikuttaa veden laatu. Etenkin teollisuus- ja kaatopaikkavedet ovat paljon kuormitusta aiheuttavia ja voivat muodostaa merkittävän osan puhdistamolle tulevasta kuormituksesta, vaikka niiden osuus virtaamasta olisikin vähäinen. Kaatopaikkavesille ominaista on, että ne sisältävät tyypillisesti huomattavan määrän typpeä. Helposti hajoavaa orgaanista ainesta sisältävistä teollisuusjätevesistä voi puolestaan olla etua typenpoistoprosessissa.

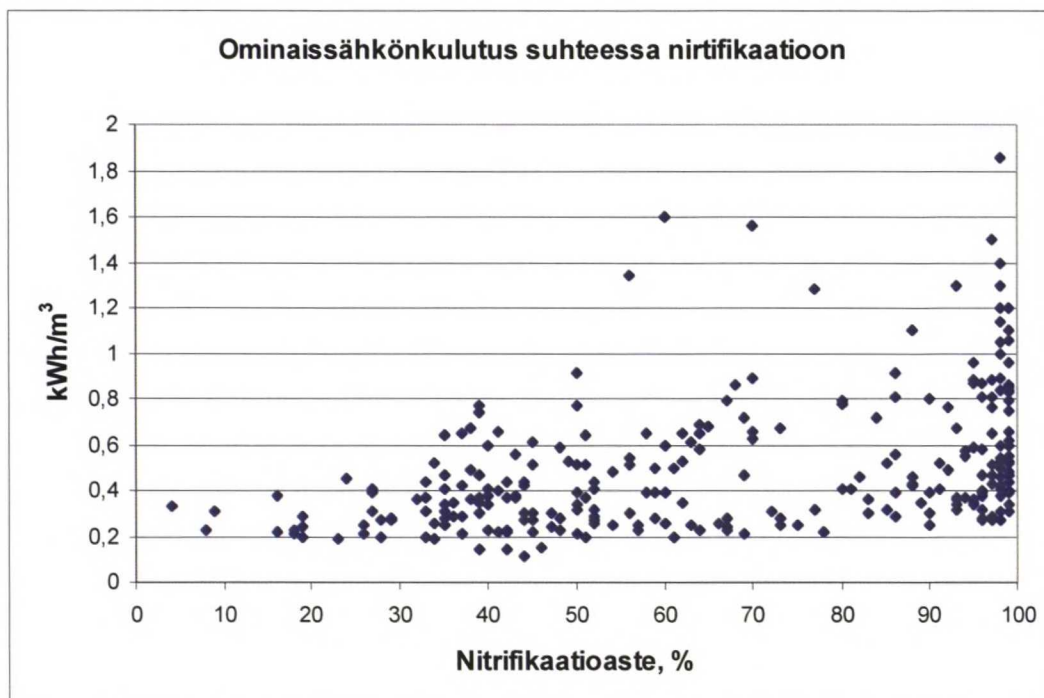
Laitoksen toiminnan energiatehokkuutta voidaan hahmottaa vertaamalla käytettyä energiamäärää poistettuun kuormitukseen. Alla kuvassa 11 on kuvattu suomalaisten, yli 10 000 AVL laitosten sähkönkulutuksia poistettuun BOD:iin suhteutettuna. Kuvasta on nähtävissä, että valtaosalla laitoksista sähköä käytettiin 1,1–3,0 kWh/kg poistettua BOD:a.



Kuva 11. Suomalaisten yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden ominaissähkönkulutuksia suhteutettuna poistettuun BOD:iin (Kangas 2003).

Kullekin jätevedenpuhdistamolle on ympäristöluvassa asetettu laitoskohtaiset puhdistusvaatimukset. Laitoksilla, joita koskee typenpoistovelvoite, voi olla suurempi energiantarve kuin laitoksilla, joilla ei poisteta typpeä. Typenpoiston aiheuttama lisääntynyt energiantarve johtuu siitä, että typenpoisto vaatii happea ja siksi enemmän

ilmastusilmaa ja edellyttää lietteen kierrätystä. (Kjellén & Andersson 2002). Myös itse laitoksen täytyy olla suurempi – ilmastustilavuutta tarvitaan yleensä kolminkertaisesti ilman typenpoistoa toimivaan aktiivilietelaitokseen verrattuna (Suomen ympäristökeskus 2009). Laitoskohtaiset vaihtelut sähkönkulutuksessa ovat kuitenkin suuria, mikä on nähtävissä kuvasta 12.



Kuva 12. Suomalaisten, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden ominais­säh­kön­kulutuksia toteutuneeseen nitrifi­kaatioasteeseen verrattuna (Kangas 2003).

Typenpoiston tarve arvioidaan ympäristöluvissa aina laitoskohtaisesti. Suomen sisävesistöt eivät ole typpiherkkiä, vaan sisävesillä kasvua rajoittava tekijä on nykytietämyksen mukaan pääsääntöisesti fosfori. Suomen Itämeren suojeluohjelman tavoitteena on, ettei yli 10 000 asukkaan jätevedenpuhdistamoilta päädy typpiherkille merialueille enempää kuin 30 % puhdistamoille tulevan typen määrästä.

6.4.2 Bioroottorilaitokset

Aktiivilietemenetelmään perustuvan jätevedenpuhdistuksen lisäksi Suomessa on käytössä muitakin prosessivaihtoehtoja, joskin näiden käyttö on toistaiseksi ollut vähäisempää. Vaihtoehtoisia tekniikoita ovat ainakin bioroottori ja biosuodin. Bioroottoreita on Suomessa käytössä lähinnä pienillä laitoksilla. Bioroottorilaitoksessa ei ole lainkaan ilmastusta, vaan biomassaa kiinnittyy bioroottoriin, josta osa on jäteveden pinnan yläpuolella ja pyörimisliikkeen seurauksena saa happea.

Bioroottorin sähkönkulutukseksi on vuonna 1998 valmistuneessa diplomityössä saatu keskimäärin 0,26 kWh/kg poistettua BOD₇:a. Jätevedenkäsittelyn sähköntarpeen lisäksi myös ilmastoinnin tarve ja sitä kautta sähkönkulutus on arvioitu tavanomaista ilmastusprosessia pienemmäksi. (Haapalainen 1998). Pudasjärven Vedessä on käytössä bioroottorilaitos, jonka prosessisähkön kulutus oli vuonna 2007 keskimäärin 0,20 kWh/m³. Prosessisähkö kattoi jäteveden käsittelyn välppäyksestä jälkisaostukseen.

Prosessin sähkönkulutuksen kuukausitason keskiarvo vaihteli välillä 0,16–0,25 kWh/m³. Vuodelta 2008 oli käytettävissä myös tieto rakennuksen muun sähkönkulutuksen suuruudesta. Muu kiinteistön sähkönkulutus nosti kokonaissähkönkulutusta huomattavasti ja jätevedenpuhdistusprosessi muodosti vain n. 44 % kaikesta sähkönkulutuksesta. Bioroottorin sähkönkulutus on arviolta 50 % prosessin kaikesta sähkönkulutuksesta. Poistettuun kuormitukseen suhteutettuna prosessin ominaissähkönkulutus oli vuonna 2007 0,74 kWh/kg poistettua BOD₇:a. (P. Salmela 10.6.2009).

6.5 Energiankulutuksen jakautuminen eri prosessiyksiköiden kesken

Perinteisillä aktiivilietelaitoksilla sähköstä pääosa kuluu biologiseen käsittelyyn ja siellä erityisesti ilmastusilman tuottamiseen. Arviot ilmastuksen osuudesta vaihtelevat eri lähteissä, tyypillinen esitetty taso on n. 50–70 % tai 40–80 % jätevedenpuhdistamon kaikesta energiankulutuksesta. (Kjellén & Andersson 2002; Heinonen 2001). Ilmastuksen sähkönkulutuksen on arvioitu ruotsalaisen tutkimuksen mukaan vievän 24 % laitosten kokonaissähkönkulutuksesta (Svenskt Vatten 2007). Laitosten väliset erot biologisen käsittelyn sähkönkulutuksessa johtuvat paitsi laitoskohtaisten ratkaisujen energiatehokkuudesta, myös siitä, mitä eri prosesseja laitoksen kokonaisenergiankulutus ylittää sisältää. Pienillä laitoksilla ei tyypillisesti ole paljon energiaa kuluttavaa omaa lietteenkäsittelyä, jolloin biologisen käsittelyn osuus kaikesta sähkönkulutuksesta on hyvin korkea. Suurilla laitoksilla osuus jää yleensä alhaisemmaksi, sillä lietteenkäsittely on niillä mittavampaa.

Tulopumppaukseen tarvittavan sähkön määrä riippuu sekä jäteveden määrästä että tarvittavasta nostokorkeudesta. Joillakin jätevedenpuhdistamoilla laitoksen sisäiset pumppaukset kuten tulopumppaus sekä lietteen kierrätys ja palautus voivat kuluttaa yhteensä jopa 50 % kaikesta energiasta (Haberker *et al.* 2008). Merkittävä sähkönkuluttaja laitoksilla voi olla myös lietteenkäsittely, johon luetaan lietteen pumppaaminen, tiivistäminen ja kuivaaminen (Kjellén & Andersson 2002). Vähäisemmässä määrin sähköä kuluu hiekanerotuksen yhteydessä tapahtuvan esi-ilmastukseen eli ilmaa tuottavien kompressoreiden toimintaan. Kokonaiskulutusta kasvattavia tekijöitä ovat mädättämön sekoittaminen pumppausta käyttäen ja jäteveden pumppaaminen altaasta toiseen.

Saksassa Ruhrverband tutki kokonaissähkönkulutuksen jakautumisesta yhdeksällä saksalaisella jätevedenpuhdistamolla, joiden koko vaihteli välillä 2 100–100 000 AVL. Tarkastelun piiriin kuuluivat jätevedenkäsittelyn lisäksi myös lietteenkäsittely ja mädätys. Laitoksilla tapahtuva pumppaus huomioitiin, verkostopumppausta sen sijaan ei. Biologinen käsittely ja siinä ilmastus olivat kaikilla laitoksilla suurimmat sähkönkuluttajat, mutta aineistosta kävi myös ilmi, että erot laitosten välillä olivat suuria. Biologisen käsittelyn osuus laitosten kaikesta sähkönkulutuksesta vaihteli välillä 55–80 %, ilmastuksen osuus oli n. 30–60 % kaikesta sähkönkulutuksesta. Lietteiden palautus (osuus 5–25 %) ja sekoitus (osuus 5–25 %) olivat joillakin laitoksilla merkittäviä sähkönkuluttajia. Mädätyksen sähkönkulutus muodosti laitosten kokonaissähkönkulutuksesta 5–15 % ja lietteen kuivaus 2–7 %. (Schmitt *et al.* 2004).

Kun jätevedenpuhdistamon toiminnassa huomioidaan myös lietteenkäsittelyn sähkönkulutus, biologisen käsittelyn merkitys vähenee hieman. Saksalaisen 100 000 AVL mallilaitoksen sähkönkulutus jakautuu eri käsittelyvaiheiden kesken siten, että biologisen osan sähkönkulutus muodostaa n. 67 % kaikesta sähkönkulutuksesta ja

vastaavasti lietteenkäsittely 11 %, suodatus 8 %, tulopumppaus 5 %, mekaaninen puhdistus 3 % ja muu 6 %. (Müller *et al.* 1999).

Biologisen osan sähkönkulutus 100 000 AVL saksalaisella mallilaitoksella puolestaan jakautuu taulukon 5 mukaisesti. Mallilaitos on laitos, jonka toimintaa pyritään optimoimaan mahdollisimman energiatehokkaaksi.

Taulukko 5. Biologisen osan sähkönkulutus saksalaisella mallilaitoksella, jonka prosessi sisältää typenpoiston ja esiselkeytyksen (Müller *et al.* 1999).

	Sähkönkulutus		
	Wh/m ³ käsiteltyä vettä	kWh/AV L	% biologisen osan kulutuksesta
Ilmastusilman tuottaminen	153,5	13,72	83 %
Sekoittajat (ilmastamaton osa)	19,6	1,75	11 %
Lietteen kierrätys	5,7	0,51	3 %
Lietteen palautus	6,9	0,62	4 %
Yhteensä	185,7	16,6	

Kuten taulukosta 5 käy ilmi, biologisen puhdistuksen sähkönkulutuksesta suurin osa kuluu ilmastusilman tuottamiseen. Sekoittajien ja pumppujen sähkönkulutuksella on mallilaitoksessa selvästi vähäisempi merkitys.

6.6 Pumppauksen energiankulutus

6.6.1 Yleistä

Jätevedenpuhdistamoilla tarvitaan pumppausta jäteveden pumppaamisessa laitokselle, palautus- ja kierrätyslietteen pumppaamisessa yksikköprosessien välillä ja pumpattaessa lietettä pois puhdistusprosessista. Tulopumppauksessa liikkuu suuria vesimääriä ja pumput ovat paljon käytössä. Tulopumppaus on siten kaikilla jätevesilaitoksilla suuri yksittäinen sähkönkuluttaja. Lietteen pumppaus taas kuluttaa suhteellisen paljon energiaa, sillä lietteen kiintoainepitoisuus on etenkin käsittelyn loppuvaiheessa korkea. Lietteen tiivistämisen ja kuivauksen tehokkuus ovat merkittäviä myös pumppauksen energiankulutuksen ja kustannusten kannalta: Raakalietteen kuiva-ainepitoisuuden nostaminen 4 %:sta 5 %:iin vähentää seuraavaan käsittelyvaiheeseen pumpattavan lietteen tilavuutta 20 % (Kjellén & Andersson 2002). Toisaalta lietteen pumpattavuudessa tulee nopeasti raja vastaan – jo kahdeksanprosenttisen lietteen pumppaaminen voi osoittautua hankalaksi.

6.6.2 Pumppauksen energiankulutuksen vähentäminen

Kun halutaan ryhtyä vähentämään jätevedenpuhdistamon energiankulutusta, täytyy ensin optimoida koko prosessin toimintaa: minimoida sähkönkulutusta ja lietteen määrää. Tämän jälkeen voidaan ryhtyä säätämään tai vaihtamaan pumppuja ja niiden moottoreita, jotta ne toimisivat optimialueella. Suurimpien sähkömoottorien sähkönkulutus muodostaa pienehköllä laitoksella n. 80 % kaikesta moottoreiden sähkönkulutuksesta, joten tehostamistoimenpiteissä voidaan keskittyä niihin. Paljon sähköä kuluttavissa kohteissa, kuten ilmastuksessa, yhdenkin prosenttiyksikön ero moottorien kompressoreiden hyötysuhteissa voi olla sähkönkulutuksen kannalta merkittävä tekijä. (Kjellén & Andersson 2002).

Kuten pumppauksen tehostamisessa yleensä, olennaisia tekijöitä ovat pumppujen oikea koko, mahdollinen taajuusmuuttajakäyttö ja pumpattavan jäteveden määrän pitäminen sopivalla tasolla. Laitoksilla toimivissa pumpuissa on todennäköisesti vielä jonkin verran käytössä kuristussäätöä. Näissä kohteissa säätö olisi hyvä muuttaa taajuusmuuttajakäyttöiseksi. Taajuusmuuttajaa käyttämällä saadaan tasattua myös prosessiin tulevan veden määrää, joskin tulopumppauksessa pumppujen alkuperäinen mitoitus on kaikkein tärkein tekijä pumppaamon optimaalisen toiminnan kannalta – oikein mitoitettu pumppu toimii normaalisti oikealla alueella ja hyvällä hyötysuhteella. (J. Räsänen 23.3.2009; J. Levälampi 8.12.2009).

Tulopumppaukseen tarvittavaa energiamäärää voidaan vähentää myös padottamalla tulotunnelia, jolloin veden pinta nousee ja tarvittava nostokorkeus jää pienemmäksi. Tällöin kuitenkin ongelmana ovat jäteveden sisältämät hiekka ja välpe. Mikäli tulopumppauksessa on käytössä ruuvipumppu, voidaan tutkia, onko nostokorkeutta mahdollista pienentää nostamalla alaveden tasoa. Myös taajuusmuuttajalla voi olla mahdollista saavuttaa säästöjä tulopumppauksen energiankulutuksessa. (Kjellén & Andersson 2002).

Tasauksen avulla on mahdollista vaikuttaa pumppauksen energiantarpeeseen. Tasausallasta käyttämällä saadaan aikaan vakiona pysyvä virtaama laitokselle, jolloin tulopumppaus voidaan mitoittaa tarkasti oikein ja pumput toimivat koko ajan optimialueella. Lisäksi prosessin ja sen sisältämien laitteiden mitoittaminen on silloin mahdollista tehdä tarkemmin, mikä sekin parantaa energiatehokkuutta. Esimerkiksi Porvoossa jätevesi kerätään vanhoihin altaisiin ja pumpataan niistä käsittelyyn yön aikana yösähköllä. Pumppauksessa käytetään matalaa taajuutta eli pieniä kierroslukuja, jolloin putkistossa syntyy vähemmän painehäviöitä ja siten sähköä säästyy. Vesi pumpataan altaista hiljalleen yön aikana pois. Alhaisilla pyörimisnopeuksilla on edullista käyttää riittävän pieniä pumppuja. Jos käytetään suuria pumppuja alhaisilla taajuuksilla, saattaa tulla tukkeutumisongelmia ja pumppu voi myös mennä rikki. Vaikka taajuusmuuttajan avulla onkin mahdollista säätää pumpun tuottoa, on tärkeää varmistaa, että säätöalue osuu pumpun hyvän hyötysuhteen alueelle. (J. Levälampi 8.12.2009).

Laitoksen energiankulutusta voidaan pienentää vähentämällä laitokselle tulevien hulevesien määrää. Samalla verkoston pumppaustarve vähenee. Joissakin kunnissa on esim. otettu käyttöön ns. sekaviemärointimaksu keinona erillisviemäroinnin lisäämiseksi. Maksun joutuu maksamaan, jos mahdollisuus sadevesien johtamiseen on olemassa, mutta sitä ei ole hyödynnetty.

6.7 Ilmastus

6.7.1 Yleistä

Kuten aiemmin kappaleessa 6.5 todettiin, ilmastus muodostaa merkittävän osan jätevedenpuhdistusprosessin energiantarpeesta. Ilmastuksen energiantarpeeseen vaikuttavat monet eri tasojen tekijät, joihin on mahdollista vaikuttaa laitoksen suunnittelun ja käytön eri vaiheissa. Näitä tekijöitä ovat:

- suunnittelu,
- laitevalinnat,
- prosessin ohjaus,

- laitteiden ylläpito ja huolto ja
- puhdistettavan jäteveden ominaisuudet.

Suunnitteluvaiheessa päätetään altaan muoto ja syvyys ja valitaan käytettävä prosessi. Näihin ei voi enää myöhemmin vaikuttaa, mutta esim. laitevalinnat voidaan tehdä näiden pohjalta mahdollisimman vähän energiaa kuluttaviksi. Myös altaan syvyys ja allastyypit vaikuttavat ilmastuksen energiankulutukseen; rengaskanava-altaissa veden lämpötilan lasku on merkittävää, mikä aiheuttaa lisääntyneen ilmastustarpeen. Laitevalintoja tehtäessä valitaan ilmastintyyppi, kompressorityyppi ja ilmastimien asettelu. Laitteet mitoitetaan yhdessä prosessiyksiköiden kanssa ja niidenkin oikealla mitoituksella pystytään vaikuttamaan energiantarpeeseen.

Tarvittavaan ilmastusilman määrään vaikuttavat jäteveden lämpötila ja koostumus. Mitä viileämpää vesi on ja mitä enemmän orgaanista ainetta se sisältää, sitä enemmän ilmastusilmaa tarvitaan. Ilmastusenergian kulutusta voidaan havainnollistaa prosessin kokonaishapentarpeen, AOR:n avulla, kWh/kg AOR. Ilmastustehokkuutta kuvaa hapensiirtotehokkuus (SOTE), johon vaikuttavat mm. syötetty ilmamäärä, lieteikä, prosessiolosuhteet ja sekoitustehokkuus. (Heinonen 2001).

Heinonen (2001) on tutkinut suomalaisten jätevedenpuhdistamoiden ilmastuksen energiankulutusta. Tutkituista laitoksista 15 oli kunnallisia jätevedenpuhdistamoita ja niiden mitoitusvirtaamat olivat 2 800–280 000 m³/d. Tutkitut energiamäärät ja poistettu kuormitus koskivat nimenomaan ilmastusta. Laitosten ilmastuksen keskimääräinen energiankulutus vaihteli välillä 0,09–0,57 kWh/m³. Vastaavasti biologiseen hapenkulutukseen suhteutettuna energiankulutukset olivat keskimäärin välillä 0,65–4,15 kWh/kg BOD. Heinosen (2001) mukaan energiatehokkaan ilmastusjärjestelmän keskeisin tunnuspiirre on riippumattomuus kuormitusvaihteluista.

6.7.2 Ilmastimet ja kompressorit

Ilmastimet voidaan toimintaperiaatteensa perusteella jaotella karkeasti pohjailmastimiin ja pintailmastimiin. Pohjailmastimet sijaitsevat altaan pohjassa ja ilma syötetään niiden kautta veteen, pintailmastimien toiminta perustuu ilman sekoittamiseen jäteveteen altaiden pinnassa. Kattamattomien pintailmastimien käyttö aiheuttaa talvisin merkittävää lämmönhukkaa, mikä puolestaan vaikeuttaa nitrifikaatiota ja lisää ilmastustarvetta (Heinonen 2001). Pintailmastimet ovat siten tehokkaimmillaan matalissa altaissa, kun taas pohjailmastimet ovat sitä tehokkaampia, mitä syvempi ilmastusallas on (Kjellén & Andersson 2002). Pohjailmastuksella päästään kuitenkin keskimäärin energiatehokkaampaan tulokseen kuin pintailmastimia käyttämällä (Heinonen 2001).

Ilmastimet voidaan jaotella niiden tuottaman kuplakoon mukaan hieno- ja karkeakuplailmastimiin. Hienokuplailmastimien tuottama kuplakoko on halkaisijaltaan alle 3 mm, karkeakuplailmastimen yli 3 mm. Hienokuplailmastimet kuluttavat vain noin puolet karkeakuplailmastimien tarvitsemasta energiamäärästä. Tavallisesti hienokuplailmastimien sähköntarve on alhaisin allassyvyyden ollessa 3–6 m. Ilmastussyvyyden kasvattaminen ei merkittävästi paranna ilmastuksen kokonaistehokkuutta, sillä allassyvyyden kasvaessa myös kuplien tuottamiseen tarvittava paine kasvaa. Karkeakuplailmastimia käytettäessä optimisyvyys on 7 metriä tai enemmän. (Kjellén & Andersson 2002).

Pohjailmastimien kautta syötettävä ilma tuotetaan kompressoreilla tai puhaltimilla. Pienillä ja keskisuurilla laitoksilla mäntäkompressorit ovat yleisiä, kun taas suurilla laitoksilla voidaan käyttää myös turbokompressoreita. Kompressori- ja puhallintyyppien valinnalla ja oikealla mitoituksella on suuri merkitys ilmastuksen energiankulutuksen kannalta, sillä suurin osa ilmastusilman tuottamiseen kuluva sähköstä kuluu ilman paineistamiseen. (Kjellén & Andersson 2002). Kompressoreita tulisi olla riittävän paljon ja ilmansyötön säädettävissä riittävän laajalla alueella, jotta ilmastusilman määrä voidaan käytännössä optimoida (Heinonen 2001). Mäntäkompressorin tuottamaa ilmamäärää voidaan muuttaa säätämällä kierroslukua, turbokompressorin taas säätämällä ohjaussiipiä. Turbokompressoreita ei ole mahdollista sulkea pois päältä lyhyiksi ajoiksi, niiden kierrosluku on hyvin korkea (50 000–100 000 rpm) (Kjellén & Andersson 2002).

Ilmastimien huolto vaikuttaa ilmastuksen energiatehokkuuteen. Esim. hienokuplailmastimen likaantuminen voi selvästi kasvattaa ilmastimien sähkönkulutusta, sillä likaantuminen vaikuttaa sekä hapensiirtotehokkuuteen että ilmantuoton painehäviöön. (Heinonen 2001).

6.7.3 Ilmastuksen ohjaus

Ilmastuksen ohjaus voidaan toteuttaa monella tavalla ja ohjaukseen on nykyään tarjolla kehittyneitä menetelmiä. Ilmastuksen laskennallinen simulointi ja edullisten online-mittausantureiden valmistus on helpottanut ilmastuksen optimointia. Prosessin ohjaus voi tapahtua tietokoneohjatusti tai manuaalisesti. Ohjaus voidaan tehdä tiettyjen parametrien kuten jäännöshappipitoisuuden, lieteiän tai alfa-arvon perusteella ja se voi perustua esim. sumeaa logiikkaan. Sumeaa logiikan avulla ilmastusta voidaan ohjata Redox-potentiaalin tai nitraatti- ja ammoniummittausten avulla. Ilmastuksen säätäminen ammoniumpitoisuuden perusteella on sekä energiatehokasta että taloudellisesti kannattavaa. (Haber Kern *et al.* 2008). Palautuslietteen määrää taas voidaan säätää tulovirtaaman mukaan ja kierrätyslietteen määrää suhteuttaa denitrifikaatioaltaasta mitattuun nitraattimäärään.

Ilmastuksen ohjaustapaa muuttamalla voi myös olla mahdollista säästää energiaa. Esim. sumeaa logiikkaan perustuvalla järjestelmällä on saavutettu 10 %:n vähennys ilmastuksen sähkönkulutuksessa ilman, että puhdistustulokset ovat huonontuneet. Järjestelmässä ilmastusilman määrää on ohjattu liuenneen hapen pitoisuuden ja redox-potentiaalin perusteella. (Colprim *et al.* 2005).

6.7.4 Ilmastuksen energiankulutuksen vähentäminen

Ilmastimien oikealla mitoittamisella, ryhmittelyllä ja ajallaan tehdyillä määräaikaishuolloilla saavutetaan ilmastuksessa paras energiatehokkuus (Haber Kern *et al.* 2008). Riittävänä ilmastushapen määränä pidetään tasoa 1,5–2,0 mg/l silloin, kun jäteveden lämpötila on yli 10 °C. Tasolla 2 mg/l saavutetaan jo 90 % nitrifikaatiobakteerien maksimaalisesta kasvunopeudesta. Käytännössä laitoksilla usein käytetään tätä korkeampia happipitoisuuden arvoja eli yli-ilmastetaan. (Schmitt *et al.* 2004). Joissain tapauksissa ilmastusilman määrän laskeminen alemmalle tasolle olisi jäännöshappipitoisuuden puolesta mahdollista, mutta ilmaa täytyy tuottaa riittävän sekoituksen ylläpitämiseksi. Näin on esim. kuormituksen ollessa hyvin alhainen. Tällöin voi olla kannattavaa asentaa ilmastettaviinkin osiin sekoittimet (Kjellén & Andersson 2002). Ilmastuksen ja sekoituksen olisi lisäksi hyvä olla tarvittaessa kytkettävissä pois päältä.

6.8 Jätevedenpuhdistamoiden energiankäytön tehostaminen

Jätevedenpuhdistamoilla on monia mahdollisuuksia energiankäytön tehostamiseen. Tehostamisen lähtökohtana voidaan pitää, että energiankäytön nykytilanne on laitoksella tiedossa. Mitä tarkemmin energiankäytön jakautuminen laitoksen eri toimintojen välille tiedetään, sen helpompi on lähteä etsimään järkeviä tehostamiskohteita. Tarkastelu voidaan tehdä keskittymällä ensin eniten energiaa kuluttaviin kohteisiin ja etsimällä niiden energiankulutukseen vähennyskeinoja. Tehostaminen voidaan tehdä myös vertailulukujen avulla, jos sellaisia on käytössä. Tällöin toiminnoista on nostettavissa esiin ne, jotka kuluttavat suhteessa enemmän energiaa kuin vertailulukujen perusteella voisi pitää riittävänä.

Jätevedenpuhdistamoilla on käytössä sekoittimia biologisen käsittelyn anaerobisessa osassa ja kemikaalien sekoituksessa. Kummatkin edellyttävät saman tehoista sekoitusta. Nykyaikaisten sekoittimien tehontarve on optimaalisesti mitoitettu tilanteessa vain 1,5–2 W/m³ käsiteltävää jätevettä. On kuitenkin tavallista, että sekoittimet kuluttavat sähköä 3–8 W/m³. (Kjellén & Andersson 2002). Sekoittimien vaihtaminen uudempiin voi olla yksi keino vähentää sähkönkulutusta. Sekoitus saattaa kuluttaa paljon energiaa myös ylimitoituksen seurauksena, jolloin voi olla mahdollista esim. jättää jokin sekoittimista kokonaan pois käytöstä puhdistustuloksen kärsimättä. (Schmitt *et al.* 2004).

Kappaleissa 6.6 ja 6.7 on käsitelty pumppauksen ja ilmastuksen energiantarvetta ja keinoja energiankulutuksen vähentämiseen.

Laitoksilla, joilla on mädättämö, ilmastuksen sähkönkulutusta voidaan laskea vähentämällä ilmastukseen tulevaa kuormaa mahdollisimman tehokkaalla esiselkeytyksellä tai lyhentämällä lieteikää mahdollisimman lyhyeksi. Kun esiselkeytys on käytössä ja lieteikää lyhennetään, biologisen osan hapenkulutus vähenee ja samalla mädätyskaasun määrä lisääntyy. (Kjellén & Andersson 2002). Esiselkeytyksen energiankulutusta on onnistuttu vähentämään korvaamalla esiselkeytysallas pyörreselkeyttimellä, jossa vesi selkeytyy kulkieksaan muotoillun kammion läpi (EPA 2008).

Erääksi keinoksi vähentää jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutusta on esitetty prosessivesien erillistä käsittelyä (Haberkern *et al.* 2008). Tyypillisesti lietteenkäsittelystä, mädättämöstä ja kompostoinnista syntyvät vedet syötetään puhdistusprosessin alkuun. Erillisellä käsittelyllä voi kuitenkin olla mahdollista saavuttaa säästöjä. Lisäksi prosessivesien erillisellä käsittelyllä voidaan tehostaa muun prosessin toimintaa, kun kuormittavat prosessivedet eivät ohjaudu varsinaiseen jätevedenpuhdistusprosessiin.

Laitosten lämmönkulutus tarjoaa omat tehostamismahdollisuutensa. Laitoksella voidaan arvioida, lämmitetäänkö siellä tarpeettomasti tiloja, joissa riittäisi alhaisempi lämpötila tai joita ei tarvitsisi lämmittää lainkaan. Tällaisia tiloja voivat olla esim. välppäykseen ja lietteen tiivistykseen käytettävät tilat. Myös näiden tilojen eristyksen parantaminen voi olla hyvä vaihtoehto. Mikäli laitoksella on maanalaisia tiloja, voi lämmityksessä olla mahdollista säästää pienentämällä tilojen ilmanvaihtoilman määrää. Laitoksilla voi lisäksi olla useita kohteita, joista on mahdollista ottaa lämpöä talteen. Lämmön talteenotosta on kerrottu lisää luvussa 8.

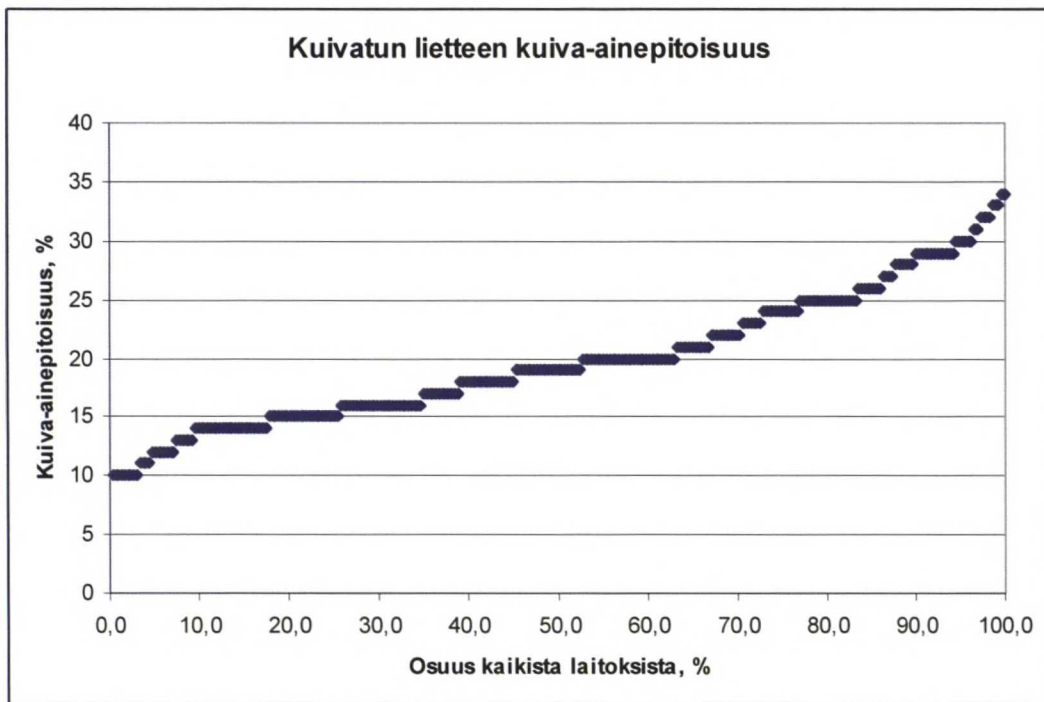
Osa laitosten energiankäytön tehostamisesta voidaan saada aikaan hyvinkin pienin ja halvin toimenpitein. Tällaisia ovat esim. hapetusarvon asettaminen alemmalle tasolle. Merkittävien energiasäästöjen aikaansaaminen voi kuitenkin vaatia vuosia kestävän, useita erilaisia toimenpiteitä sisältävän, koko prosessin optimoinnin. Keskeisessä asemassa muutosten aikaansaamisessa ovat silloin motivoitunut ja osaava henkilökunta ja ulkopuolinen neuvonta. (Haberkern *et al.* 2008).

7 LIETTEENKÄSITTELYN ENERGIANKULUTUS

7.1 Yleistä

Jätevedenpuhdistamoilta syntyy aina jätevesilietettä, joka koostuu kiintoaineesta ja sen mukana prosessista tulevasta jätevedestä. Jätevesilietettä syntyi puhdistamoilta vuonna 2003 noin 1,1–1,2 miljoonaa tonnia. Kuiva-aineena ilmaistuna lietemäärä on n. 150 000 tonnia. (Suomen ympäristökeskus 2009). Tästä jätteestä materiaalihyödyntämiseen käytettiin kuiva-aineena 96 000 t, energiahyödyntämiseen 1 500 t, kaatopaikalle 10 500 t ja 42 000 t käsiteltiin muuten. (Myllymaa *et al.* 2006). Valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitteena on, että vuonna 2016 yhdyskuntalietteistä 100 % hyödynnetään joko maanparannuskäytössä energiana (Ympäristöministeriö 2008).

Suoraan prosessista poistettava liete sisältää n.1–3 % osin orgaanista kiintoainetta ja loput vettä. Tätä lietettä tiivistetään ja kuivataan ennen sen kuljettamista pois jätevedenpuhdistamolta. Käsittelyssä lietteen volyymi ja samalla lietteen jatkokäsittelyyn tarvittavien käsittely-yksiköiden kapasiteetti pienenevät. Samalla tarvittavien kuljetusten määrä vähenee ja liete muuttuu helpommin käsiteltäväksi. Laitoksilla on käytössä hyvin erilaisia lietteenkuivausmenetelmiä ja siten laitoksilta poistettavan lietteen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee suuresti. Lisäksi kuivaustulos riippuu lietteen ominaisuuksista; mädätetty liete kuivuu keskimääräistä paremmin, kun taas meijerivesiä käsittelevän laitosten lietteiden kuivaus on hankalaa. (T. Sulin 5.3.2009; Lana *et al.* 2008.) Suomen jätevedenpuhdistamoita kartoittaneessa PUTOUS - tutkimuksessa selvitettiin myös laitosten lietteiden kuiva-ainepitoisuuksia kuivauksen jälkeen. Kuvassa 13 on esitetty tutkittujen, yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden kuivattujen lietteiden kuiva-ainepitoisuuksien pysyvyyskäyrä. Kuvasta 13 on nähtävissä, että kuiva-ainepitoisuudet ovat melko tasaisesti 10–30 % välillä.



Kuva 13. Suomalaisten jätevedenpuhdistamoiden kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuudet (Kangas 2003).

Saksassa lietteenkäsittelyn on kaikkiaan (lietteenkuivaus ja mädätys) arvioitu kuluttavan 10–20 % jätevedenpuhdistamon tarvitsemasta sähköstä ja 80–90 % puhdistamon tarvitsemasta lämmöstä (Müller *et al.* 1999). Laitoskohtaiset luvut voivat vaihdella paljonkin, sillä laitoksilla tapahtuvan käsittelyn laajuus vaihtelee suuresti.

7.2 Lietteen mekaaninen tiivistys ja kuivaus

7.2.1 Lietteen sakeutus

Lietteen sakeutus on tyypillisesti lietteenkäsittelyn ensimmäinen vaihe ennen lietteen johtamista jatkokäsittelyyn. Sakeutuksessa vedenpoisto tapahtuu mekaanisesti ja lietteen kuiva-ainepitoisuus nousee n. 3–5 %:iin. Tällöin liete on vielä pumpattavaa. Suomessa käytetään yleensä gravitaatiosakeutusta, johon ohjataan sekä primääri- että ylijäämäliete. Polymeeriä käyttämällä lietteen kuiva-ainepitoisuus saadaan nousemaan 6–10 %:iin. Mädätettyä lietettä on vastaavasti mahdollista sakeuttaa lähelle 10 % TS -pitoisuutta. (Kangas 2002).

7.2.2 Koneellinen kuivaus

Jatkokäsittelyssä lietteen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan entisestään. Yleisimpiä vaihtoehtoja ovat vedenpoisto suotonauhapuristimella, lingolla tai ruuvipuristimella. Kuivausmenetelmien sähkönkulutus ja saavutettava kuiva-ainepitoisuus riippuvat kuivattavan lietteen ominaisuuksista ja laitteen käyttöajasta (Lana *et al.* 2008). Saksassa koneellinen lietteenkuivauksen on arvioitu muodostavan n. 1–5 % jätevedenpuhdistamon sähkönkulutuksesta (Haberkern *et al.* 2008).

Suotonauhapuristimen etuja ovat yksinkertainen tekniikka, pieni tilantarve ja vähäinen energiantarve. Nykyaikainen suotonauhapuristin poistaa tehokkaasti vettä ja tyypillisesti sillä saavutetaan 20 %:n kuiva-ainepitoisuus. (Kangas 2002). Erikokoisten suotonauhapuristimien sähkönkulutuksia on vertailtu taulukossa 6:

Taulukko 6. Suotonauhapuristimien sähkönkulutuksia (Stenberg lähteessä Lana *et al.* 2008). Sähkönkulutus kWh/t tarkoittaa sähkönkulutusta tuotettua (20 % TS) lietetonna kohden.

		Suotonauhapuristin		
	Yksikkö	A	B	C
Syöttö (5 %)	m ³ /h	5	10	15
Syöttö (5 %)	m ³ /d	92	154	231
Tuotto (20 %)	m ³ /d	27	45	68
Tuotto (20 %)	m³/a	7 060	11 770	17 650
Tuotto (20 %)	t/a	6 000	10 000	15 000
Käyttöteho	kW	11	15	19
Käyttöaika	h/d	18,4	15,4	15,4
Käyttöaika	h/a	4780	4000	4000
Sähkönkulutus	MWh/a	53	60	76
Sähkönkulutus	kWh/t	8,8	6	5,1

Taulukosta 6 nähdään, että suhteellinen sähkönkulutus on sitä vähäisempää, mitä suurempi suotonauhapuristin on kyseessä.

Linkous on yleisesti käytössä oleva lietteenkäsittelymenetelmä. Lingon toiminta on tehokasta ja sen käyttövarmuus ja -mukavuus ovat hyvät. Käyttöteho on säädettävissä, joskaan tehon säätäminen ei aina ole ihan helppoa. Linkoamalla saavutetaan kuiva-ainepitoisuus n. 15–30 %. Kuivausta voidaan tehostaa polymeerin käytöllä. (Kangas 2002).

Taulukossa 7 on verrattu kolmen eri lingon sähkönkulutustietoja. Oletuksena on ollut, että linko on käytössä arkipäivisin. (Stenberg ja Söderlund lähteessä Lana *et al.* 2008).

Taulukko 7. Linkojen sähkönkulutustietoja (Stenberg ja Söderlund lähteessä Lana *et al.* 2008)

		Linko		
	Yksikkö	1	2	3
Syöttö (5 %)	m ³ /h	5	10	20
Syöttö (5 %)	m ³ /d	92	154	231
Tuotto (20 %)	m ³ /d	27	45	68
Tuotto (20 %)	m³/a	7059	11 765	17 647
Tuotto (20 %)	t/a	6000	10 000	15 000
Käyttöteho	kW	10	20	30
Käyttöaika	h/d	24	15,4	7,7
Käyttöaika	h/a	6240	4004	2002
Sähkönkulutus	MWh/a	62	80	60
Sähkönkulutus	kWh/t	10,3	8	4,0

Alla kuvassa 14 näkyy linkokuivattua, mädätettyä lietettä, jonka kuiva-ainepitoisuus on n. 30 %.



Kuva 14. Linkokuivattua, mädätettyä lietettä (Hämeenlinnan Seudun Vesi).

Melko alhaiselta vaikuttavasta kiintoainepitoisuudesta huolimatta linkokuivattu, mädätetty liete näyttää lähinnä märältä mullalta.

Ruuvipuristimessa on sylinterin ympäröimä ruuvi, joka puristaa lietettä, jolloin vesi erottuu lietteestä. Ruuvipuristin edellyttää apukemikaalien kuten polymeerin, kalkin ja metallisuolojen käyttöä. Happohydrolyysiä ja höyrylämmitystä hyödyntämällä on päästy jopa 40 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. (Kangas 2002).

7.2.3 Mekaanisten kuivausmenetelmien energiantarpeen vertailu

Eri lietteentiivistys- ja kuivausmenetelmien energiankulutuksissa on eroja paitsi eri menetelmien välillä, myös eri laitevalmistajien tarjoamien laitteiden välillä. Lisäksi lietteen ominaisuudet ja määrä voivat vaikuttaa käsittelyn energiatehokkuuteen. Kaikkein vähiten energiaa kuluttaa staattinen lietteen laskeuttaminen. Koneellinen tiivistys ja kuivaus kuluttavat suhteellisesti sitä enemmän energiaa, mitä pienempi yksikkö on kyseessä. Terminen kuivaus on energiantensiivistä ja silloin kun lietteenkuivaus tehdään lämmöllä, saattaa kuivauksen lämmöntarve olla yhtä suuri kuin koko muun laitoksen lämmöntarve yhteensä. (Kjellén & Andersson 2002).

Taulukossa 8 on esitetty mekaanisten kuivausmenetelmien sähkönkulutuksia mädätettyä lietettä kuivattaessa.

Taulukko 8. Lietteenkuivaustekniikoiden tutkittuja sähkönkulutuksia 100 000 AVL laitoksella (Kjellén & Andersson 2002).

Menetelmä	Saavutettava kuiva-	Ominais­sähkönkulutus	Kokonaissähkönkulutus
-----------	---------------------	-----------------------	-----------------------

	ainepitoisuus				
	%	kWh/t TS		kWh/d	
		min	max	min	max
Sakeutus (staattinen)	10	0	10	0	62
Linko	28	20	43	124	264
Korkeakapasiteetti-linko	33	30	56	186	341
Suotonauhapuristin	30	15	30	93	184

Mekaaninen sakeutus luonnollisesti kuluttaa kaikkein vähiten sähköä. Suotonauhapuristimen ja lingon sähkönkulutukset ovat osittain samalla alueella, mutta suotonauhapuristin jää sekä vähimmäis- että enimmäiskulutukseltaan lingon alapuolelle.

Taulukossa 9 on verrattu eri mekaanisten kuivausmenetelmien sähkönkulutuksia lietekuutiota kohden lietettä kuivattaessa. Laskeutuksen ja korkeateholingon tiedot koskevat mädätteen kuivausta, suotonauhapuristimen ja tavallisen lingon tiedot ylijäämälietteen kuivausta.

Taulukko 9. Eri lietteenkuivausmenetelmien sähkönkulutuksia 100 000 AVL mallilaitoksella (Kjellén & Andersson 2002).

	kWh/m ³ lietettä	
	min	max
Laskeutus	0	0,4
Suotonauhapuristin	0,2	0,4
Linko	0,5	1,3
Korkeateholinko	1,2	2,2

Koska eri valmistajien samantyyppisten laitteiden sähkönkulutuksessa voi olla suuri, jopa kaksin-kolminkertainen ero, oikean laitteiston valinta kannattaa tehdä kokeiden perusteella. Tällöin varmistutaan laitteen toimivuudesta ja sopivuudesta juuri aiottuun käyttötarkoitukseen. (Kjellén & Andersson 2002).

Lietteenkuivausmenetelmää valittaessa hankintapäätökseen vaikuttavat usein muutkin tekijät kuin laitteen energiankulutus. Tällaisia tekijöitä ovat laitteen käytön helppous, vähäinen huollon tarve ja toiminnan varmuus. Lisäksi lietteen erilaiset loppukäsittelyt edellyttävät vaihtelevaa kuiva-ainepitoisuutta. Jos liete halutaan polttaa leijukerroskattilassa, kuiva-ainepitoisuus täytyy nostaa ainakin 35 %:iin, kun taas sementtiuunissa polttaminen edellyttää 90 %:n kuiva-ainepitoisuutta. (Kjellén & Andersson 2002). Kompostoitavan lietteen kuiva-ainepitoisuuden on käytännössä oltava vähintään 15 %. Mitä korkeampi lietteen kuiva-ainepitoisuus kompostoitaessa on, sitä vähemmän siihen tarvitaan tukiainetta, jonka annostelu on 1–2 kertaa lietteen tilavuus. (Pöyry 2007). Mädätys ei varsinaisesti edellytä lietteen kuiva-ainepitoisuuden nostamista, mutta laitosten käsittelykapasiteetti on sitä suurempi, mitä tiiviimpää mädätettävä liete on. Jätevedenpuhdistamoilla käytetään märkämädätystä, jossa lietteen kuiva-ainepitoisuus on korkeintaan 15 %. Käytännössä jätevedenpuhdistamoilla mädätettävä liete on vielä selvästi tätä laimeampaa. Kuivamädätystä, jossa kuiva-ainepitoisuus on 20–40 %, käytetään esim. biojätteen mädätyksessä.

7.2.4 Terminen kuivaus

Termistä kuivausta käytetään tällä hetkellä Suomessa vain kahdella jätevedenpuhdistamolla (A. Kangas 24.2.2009). Termisessä kuivauksessa liete kuumennetaan ja nestettä poistetaan haihuttamalla. Kuivaus voidaan toteuttaa joko kontaktikuivauksena ja konvektiokuivauksena. Kontaktikuivauksessa lämpö siirtyy lietteeseen kuuman pinnan välityksellä, konvektiokuivauksessa lämmön siirtämisestä vastaa kuuma ilma, palokaasu tai tulistettu höyry. (Kangas 2002).

Korkealämpötilakuivaus tarkoittaa sitä, että lietteeseen johdetaan yli sata-asteista ilmaa tai vettä. Näin saadaan lietteestä nopeasti poistettua vettä. Lietteen terminen kuivaus voidaan toteuttaa myös matalassa lämpötilassa. Kylmäilma- ja matalalämpökuivauksessa kuivaava väliaine lämmitetään joko alle 40-asteiseksi tai alle 80-asteiseksi. Vesi haihtuu tällöin suuren ilmanvaihtuvuuden vuoksi. (Haberkern *et al.* 2008).

Termisen kuivauksen etuna on, että se vie vähän tilaa. Terminen kuivaus on kuitenkin mekaanista kuivausta kalliimpaa. (Kangas 2002). Lisäksi osa termisen kuivauksen menetelmistä tuottaa haju- ja pölyhaittoja ja niissä on olemassa palo- ja räjähdysvaara. (Pöyry 2007). Kuivainten lämpöenergian kulutukseksi on esitetty 0,8–1,1 kWh/kg haihdutettavaa vettä (eli 2800–4000 kJ/kg H₂O) (Kangas 2002). Lämpöenergian tarve on siten 460–860 kWh/t lietettä, kun liete kuivataan pitoisuudesta 20 % TS pitoisuuteen 90 % TS. Korkeassa lämpötilassa toimivien kuivureiden energiantarve on poikkeuksetta luokassa 1 kWh/kg H₂O. Tästä energiantarpeesta tyypillisesti 5–15 % on sähköä (Haberkern *et al.* 2008). Kuivainten pelkän sähköenergian tarpeen suuruudeksi on esitetty pienimmillään 4–5 kWh/m³ lietettä, suurimmillaan kymmeniä kilowattitunteja (Kangas 2002). Nykyään on saatavilla myös kuivureita, joissa kuivaukseen käytetään pelkkää sähköä ja täyskuivaus aikaansaadaan sähkönkulutuksella 0,8 kWh/kg H₂O (eli 460 kWh/t lietettä). Termisen kuivauksen lämpöenergian tarvetta voidaan merkittävästi vähentää lämmön talteenoton avulla. Kuivaimen jäähtytykseen käytetystä vedestä on mahdollista ottaa talteen lämpöä ja siten parantaa energiatehokkuutta. Terminen kuivaus onkin energiatehokkainta silloin, kun kuivaus voidaan toteuttaa hukkaenergialla ja käsittelystä syntyvä lämpö voidaan hyödyntää.

Sähköllä ja öljyllä toimivan termisen kuivaajan sähkönkulutukseksi on esitetty 315 MJ/tonni lietettä (88 kWh/tonni lietettä) kuiva-ainepitoisuudella 20–25 % (tai vastaavasti 1 525 MJ/t TS tai 424 kWh/t TS) ja kevyen polttoöljyn tarpeeksi 51,1 kg/t lietettä (Lavikainen 2007; Rantanen 2007; Eskola 2007 lähteessä Myllymaa *et al.* 2008a).

Termisellä kuivauksella voidaan päästä jopa 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, joskin myös osittainen kuivaus on mahdollista. Täyskuivauksen rajana pidetään 85 %:n kuiva-ainepitoisuutta. Tämä pitoisuus tarvitaan lietteen varastoinnissa homehtumisen estämiseksi.

Termisesti kuivattu liete voidaan polttaa tai kuivauksesta syntyviä granuloja voidaan käyttää kompostoinnissa tukiaineena. (Kangas 2002). Termisesti kuivattu liete soveltuu myös lannoitevalmisteasetuksessa tarkoitetuksi maanparannusaineeksi tyyppinimellä kuivarae tai -jauhe (Maa- ja metsätalousministeriön asetus 12/2007). Terminen kuivaus on alentuneiden kuljetuskustannusten ansiosta taloudellisesti kannattavaa, jos liete täytyy kuljettaa 50–100 km:n päähän (Pöyry 2007).

7.2.5 Muut menetelmät

Suomessa vähän tunnettuja, mutta energiatalouden kannalta mielenkiintoisia lietteenkuivausmenetelmiä ovat säteilykuivaimet ja aurinkokuivaimet. Säteilykuivaimessa hyödynnetään infrapunasäteilyä, jota käyttämällä voidaan saavuttaa 80–95 %:n kuiva-ainepitoisuus. Aurinkokuivaus puolestaan perustuu nimensä mukaisesti aurinkoenergian hyödyntämiseen kasvihuonemaisessa ratkaisussa. Menetelmä vaatii paljon pinta-alaa, mutta sen energiankulutus ja käyttökustannukset ovat alhaiset. Aurinkokuivauksellakin voidaan saavuttaa 85 %:n kuiva-ainepitoisuus. (Kangas 2002).

7.3 Loppukäsittelyn energiantarve

Lietteen loppukäsittelyn tarkoituksena on lietteen kuiva-ainepitoisuuden nostaminen edelleen, lietteen stabilointi ja hygienisointi. Lietteen stabilointi tarkoittaa sitä, että lietteessä tapahtuva biologinen toiminta on keskeytetty tai se on edennyt niin pitkälle, ettei lietteestä enää aiheudu ympäristöhaittaa loppukäsittelyssä tai loppusijoituksessa (Pipatti *et al.* 1996). Lietteen loppukäsittelyn hoitaa usein joku muu taho kuin jätevedenpuhdistamo. Loppukäsittely voi olla jätevedenpuhdistamon alueella tai sen lähellä, mutta usein liete kuljetetaan myös kauemmaksi käsiteltäväksi. (Sänkiaho & Toivikko 2005).

Lietteen loppukäsittelyn vaihtoehtoiset (ja osin päällekkäiset) menetelmät ovat kompostointi, aerobinen lahotus (lämpölahotus), kalkkistabilointi, Kemicond -menetelmä, terminen kuivaus, mädätys ja poltto. (Pipatti *et al.* 1996). Mädätyksestä ja lietteenpoltosta kerrotaan lisää luvussa 9. Loppukäsittelyn jälkeen lietettä voidaan käyttää peltolannoitteena tai maisemoinnissa paitsi silloin, kun liete on poltettu. Liette voidaan varastoida, jos sille ei ole sopivaa loppukäyttöä.

Kompostoinnissa lietteen sisältämä orgaaninen aines hajoaa hapellisissa oloissa. Kompostointi voi tapahtua joko avoimella kentällä tai suljetussa kompostointilaitoksessa. Kompostointi aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä, sillä kompostointi kuluttaa energiaa ja prosessista haihtuu metaania ja dityppioksidia. Lisäksi kompostoinnista voi aiheutua joitakin muita kielteisiä ympäristövaikutuksia, kuten hajuja ja melua. Hajujen määrä kuitenkin riippuu paljon kompostoitavan lietteen orgaanisen aineen hajoamisen asteesta ja siitä, miten kompostointi toteutetaan. Suljetussa tilassa toteutettavassa kompostoinnissa hajukaasut voidaan puhdistaa ennen ulos johtamista. Toisaalta taivasalla tapahtuvasta aumakompostoinnistakaan ei välttämättä synny merkittävästi hajuja, jos kompostoitava liete on mädätettyä. Kompostoinnin etuja on, että kompostointi on toteutettavissa kannattavasti sekä pienessä että suuressa mittakaavassa. Kompostoinnin energiankulutus muodostuu pääasiassa prosessissa tarvittavan ilmastuksen ja laitteiden sähkönkulutuksesta, jonka suuruudeksi on eri lähteissä mainittu 40–60 kWh/t (Pöyry 2007) tai 80 MJ/tonni (Myllymaa *et al.* 2008b).

8 HAIHDUNTAPÄÄSTÖT

8.1 Yleistä

Vesihuoltolaitosten toiminnasta voi syntyä suoria kasvihuonekaasupäästöjä jätevedenpuhdistusprosessista, lietteenkäsittelystä tai purkuvesistöön johdetusta jätevedestä. Haihduntapäästöjen suuruutta voidaan arvioida mittauksin tai laskennallisesti. Haihduntapäästöjen mittaamista jätevedenpuhdistamoilta vaikeuttaa se,

että monet Suomenkin jätevedenpuhdistamoista ovat kattamattomia ja luotettavien mittausten suorittaminen on siten hankalaa. Katetussa laitoksessa mittausten tekeminen on helpompaa. Laskennallisissa menetelmissä haihduntapäästöjen suuruutta arvioidaan jäteveden määrän ja ominaisuuksien, esim. BOD:n tai ravinnepitoisuuksien perusteella.

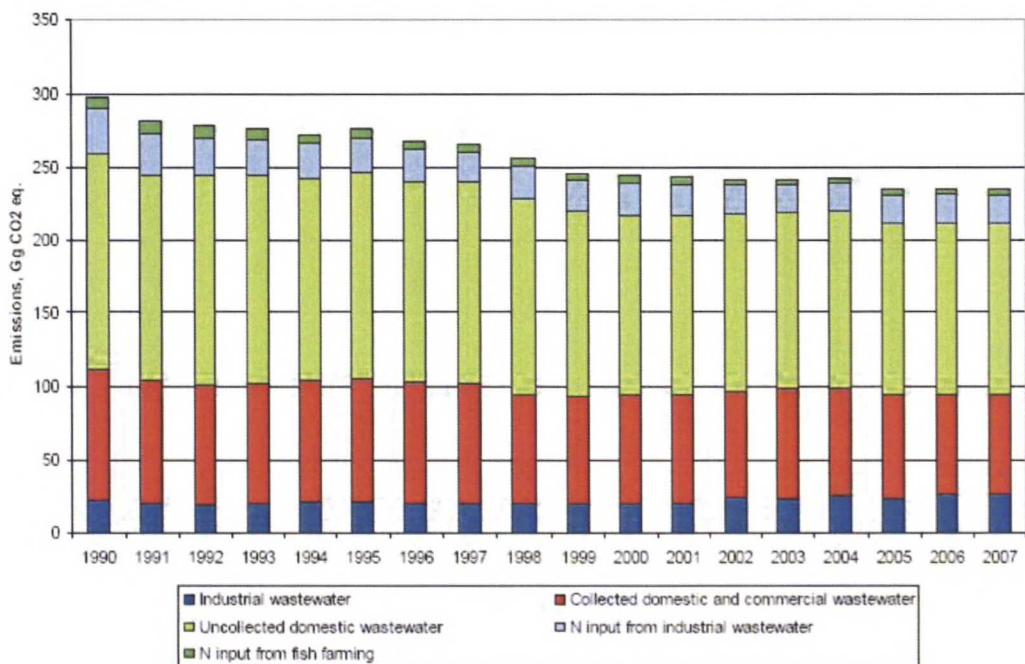
Suomen kansallinen päästöinventaario sisältää arviot keskeisten vesihuoltolaitosten toimintojen aiheuttamista haihduntapäästöistä. Arviot pohjautuvat IPCC:n laskentamenetelmiin ja asiantuntijoiden määrittämiin kertoiimiin ja lienevät tällä hetkellä luotettavin arvio päästöjen suuruudesta. Mitattua tietoa Suomen jätevedenpuhdistamoiden toiminnasta seuraavista haihduntapäästöistä on vähän. Helsingin Veden kallion sisällä sijaitsevalla Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla tehtiin vuonna 2007 haihduntapäästömittauksia EU:n PRTR -raportointia varten. Rekisterin raportointivelvollisuus koskee yli 100 000 AVL laitoksia. Mittausten perusteella luotiin laskentamalli yksittäisten jätevedenpuhdistamoiden haihduntapäästöjen suuruusluokan selvittämiseksi. Suomalaiset jätevedet ovat koostumukseltaan melko homogeenisia, joten samojen mittausten käyttäminen eri puhdistamoiden haihduntapäästöjen arviointiin on perusteltua. Puhdistamolta mittauksia tehtiin kahtena päivänä, mädätteen varastoinnista yhtenä päivänä. Tulevaisuudessa Suomesta lienee saatavilla pitkäkestoisempia mittaustuloksia haihduntapäästöjen määristä.

8.2 Haihduntapäästöjen määrä ja merkittävyys

Suomi raportoi kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariorissa jätevesihuollosta ja jätevesilietteen käsittelystä syntyvien metaani- ja dityppioksidipäästöjen määrät osana jätesektorin päästöjä. Päästöjä aiheuttavat jätevedenpuhdistus, puhdistetun jäteveden purkaminen ja jätevesilietteen kompostointi ja kaatopaikkasijoitus. Jäteveden käsittelyn päästöt käsittävät prosessista ja biokaasun tuottamisesta haihtuvat metaanipäästöt ja puhdistetun jäteveden purkamisesta syntyvät metaani- ja dityppioksidipäästöt.

Tilastokeskuksen (2009) arvion mukaan Suomen kaikesta jätevedenpuhdistamoilla tapahtuvasta jätevesien käsittelystä ja purkamisesta koituvien metaani- ja dityppioksidipäästöjen suuruus oli vuonna 2007 69 000 tonnia CO₂-ekv, jätevesilietteen kompostoinnin metaani- ja dityppioksidipäästöjen suuruus 57 000 t CO₂-ekv ja jätevesilietteen kaatopaikkasijoittamisesta seuraavien metaanipäästöjen suuruus 24 000 t CO₂-ekv. Arvioinnissa käytetty laskutapa esitetään tarkemmin kappaleissa 8.3.1 ja 8.3.2. Määrät on muutettu vastaamaan IPCC:n vuoden 2007 kertoiimia. Yhteensä näistä toiminnoista syntyvät haihduntapäästöt muodostivat n. 6 % kaikista jätesektorin päästöistä. Jätevedenpuhdistusprosessista syntyvän dityppioksidin määrän arvioimiselle IPCC:llä ei ole menetelmää. Jätevedenpuhdistuksen päästöjen virhemarginaali oli vuonna 2006 -50 % – +140 %. Virhemarginaalissa kaikkein eniten vaikuttava tekijä on dityppioksidin päästökertoimeen liittyvä epävarmuus. Jätteen (ja samalla jätevesilietteen) kaatopaikkasijoituksen päästöjen virhemarginaali on ±40 %.

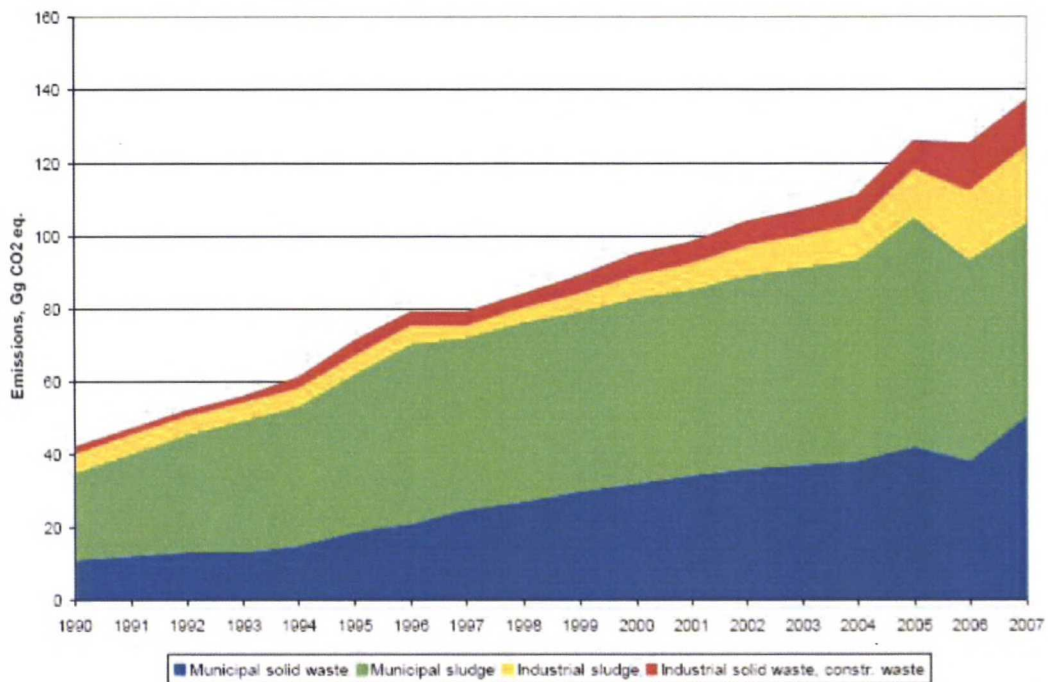
Suomen jätevesien käsittelystä koituvat metaani- ja dityppioksidipäästöt on arvioitu seuraavasti (Tilastokeskus 2009):



Kuva 15. Jätevesien käsittelyn haihduntapäästöt päästölähteittäin Suomessa vuosina 1990–2007, Gg CO₂-ekv. Värikoodit alhaalta ylös: sininen = teollisuusjätevesi, punainen = keskitetysti puhdistettu yhdyskuntajätevesi, vihreä = haja-asutuksen jätevesi, vaaleansininen = teollisuusjäteveden typpikuormitus, tummanvihreä = kalankasvatuksen typpikuormitus. (Tilastokeskus 2009).

Kuvasta 15 nähdään, että jätevesihuollosta johtuvat metaani- ja dityppioksidipäästöt ovat laskeneet vuodesta 1990 tasaisesti. Keskitetyn käsittelyn ulkopuolelle jäävän asumisjäteveden merkitys päästöjen aiheuttajana on suuri, etenkin kun huomioidaan, että viemäriverkostojen ulkopuolelle jää vain n. 20 % suomalaisista.

Kuvassa 16 on esitetty Suomessa kompostoinnista syntyvien päästöjen määrä vuosina 1990–2007. Kuvasta on nähtävissä, että jätevesiliikkeen kompostoinnista syntyvien metaani- ja dityppioksidipäästöjen osuus kaikista kompostoinnin päästöistä on merkittävä. Lisäksi päästöt ovat kasvussa.



Kuva 16. Kompostoinnista syntyvien kasvihuonekaasujen määrä Suomessa vuosina 1990 – 2007, Gg CO₂-ekv. Värikoodit: sininen = yhdyskuntajäte, vihreä = yhdyskuntaliete, keltainen = teollisuusliete, punainen = kiinteä teollisuusjäte, rakennusjäte (Tilastokeskus 2009).

Jako jätevedenpuhdistamoiden toiminnasta ja haja-asutusten jätevesistä aiheutuviin päästöihin ei kaikilta osin ole täysin yksiselitteinen, sillä haja-asutuksen sakokaivolietteitä käsitellään myös jätevedenpuhdistamoilla ja tämän jälkeen lietteitä kompostoidaan yhdessä muun jätevesilietteen kanssa. Lisäksi kasvihuonekaasupäästöjä syntyy jätevedenpuhdistukseen liittyen myös esim. lietteenpolton yhteydessä. Tällä hetkellä lietteenpolto on kuitenkin hyvin vähäistä.

8.3 Haihduntapäästöt päästölähteittäin

8.3.1 Jäteveden käsittelyn metaanipäästöt

Jäteveden sisältämä orgaaninen aine voi anaerobisissa olosuhteissa muodostaa merkittäviä määriä metaania. Aerobisesta jätevedenkäsittelystä metaanipäästöjä syntyy vain vähän. Anaerobisia olosuhteita voi esiintyä sekä jäteveden että jätevesilietteen käsittelyn yhteydessä.

Metaanipäästöjä muodostuu aktiivilietealtaiden anaerobisissa osuuksissa ja mädättämöiden vuotojen ja biokaasun epätäydellisen palamisen yhteydessä. Metaania haihtuu myös jäteveden kuljetuksista. (IPCC 2007b). Sitä voi lisäksi syntyä viemäriverkostossa, jos putkistossa on anaerobisia vyöhykkeitä, joskin tällaisten vyöhykkeiden syntyminen pyritään estämään. Haja-asutuksen jätevesien paikallisessa käsittelyssä syntyy helposti anaerobisia olosuhteita, joissa haihduntapäästöjä pääsee muodostumaan. (R. Pipatti 11.2008). Myös kontrolloimaton jäteveden purkaminen vesistöihin aiheuttaa metaani- ja lisäksi dityppioksidipäästöjä (IPCC 2007b).

Metaanipäästöjen laskemiseksi on esitetty erilaisia laskentakaavoja. Suomen ympäristökeskuksen tekemässä Vesihuollon elinkaaritutkimuksessa vuodelta 2000

(Tenhunen *et al.*) on käytetty EEA:n (Euroopan ympäristövirasto) esittämiä, McInnesin (1996) määrittämiä kertoimia metaani- ja dityppioksidipäästöille, joissa metaanin päästökerroin on 3,7 g metaania/ m³ jätevettä. Viikinnmäen mittausten perusteella tehdyssä laskentamallissa metaanintuotto arvioidaan tulevan jäteveden BOD:n perusteella siten, että metaanipäästöjen määrä on 0,0131 kg CH₄/ kg BOD₇. Lisäksi mädätteen varastoinnista ja biokaasun poltosta syntyville metaanipäästöille on esitetty kerroin 0,00731 kg CH₄/ m³ tuotettua biokaasua. IPCC (2007b) ohjeistaa arvioimaan metaanipäästöjen suuruutta jäteveden sisältämän hajoavan orgaanisen aineen määrän (BOD:n) perusteella. Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa yhdyskunta- ja teollisuusjätevesistä syntyvien metaanipäästöjen määrä on laskettu IPCC:n menetelmää käyttäen, mutta omalla metaanin muuntumiskertoimella. Laskelma on tehty muuttamalla BOD₇ -arvot BOD₅:ksi jakamalla arvot 1,17:llä. Kasvihuonekaasuinventaariossa laskennassa on käytetty seuraavaa yhtälöä:

$$\text{Päästöt (Gg CH}_4\text{)} = \text{Jätevesien orgaaninen kuorma} * B_0 * MCF / 1000000, \quad (1)$$

missä

B_0 = Metaanintuoton maksimikapasiteetti (kg CH₄ / kg BOD tai kg COD)

MCF = Metaanin muuntumiskerroin (osuus)

Asumisjätevesien päästölaskennassa on käytetty metaanintuoton maksimikapasiteetille IPCC:n oletuskerrointa $B_0 = 0,625$ (= $2.5 * 0.25$) kg CH₄/kg BOD ja maakohtaista, asiantuntija-arvioon perustuvaa metaanin muuntumiskerrointa $MCF = 0,01$. Muuntumiskerroin tarkoittaa käytännössä, että laskentakaavan mukaan metaania syntyy 1 % koko jäteveden mahdollisesta metaanintuottokapasiteetista.

8.3.2 Jäteveden käsittelyn dityppioksidipäästöt

Toista merkittävää jäteveden käsittelyssä syntyvää kasvihuonekaasua, dityppioksidia, voi muodostua sekä jäteveden että lietteen käsittelyssä. Maailmanlaajuisella tasolla asumisjätevesi on merkittävä N₂O-päästöjen lähde (IPCC 2007b). Dityppioksidia syntyy sekä jätevedenpuhdistusprosessista että vesistöön puretusta puhdistetusta jätevedestä. (Hirayama *et al.* 2008). Puhdistusprosessissa typenpoiston yhteydessä dityppioksidia tiedetään muodostuvan ainakin epätäydellisen nitrifikaation yhteydessä ja veden purkamisen yhteydessä veteen jääneestä tyypestä. Lisäksi sitä voi muodostua lietteen kaatopaikkasijoituksessa, kompostoinnissa ja lietteenpoltossa.

Barton & Atwater (2002) ovat kartoittaneet dityppioksidin muodostumisesta tehtyä tutkimusta käymällä läpi aiheesta löytyneet 26 artikkelia. He havaitsivat, että eri tutkimuksissa on saatu hyvin erilaisia tuloksia muodostuvan dityppioksidin määräksi. Enimmillään jäteveden sisältämästä ammoniumtyypestä jopa 40 % on muodostanut dityppioksidia ja hyvin korkeita muuntumisprosentteja (7 %; 16 %; 35 %) on havaittu muissakin tutkimuksissa. Barton & Atwater (2002) huomauttavat kuitenkin, että vaikka laboratoriorikokeissa on havaittu korkeita N₂O-pitoisuuksia jäteveden käsittelyn yhteydessä, käytännön mittauksissa todellisilla laitoksilla pitoisuudet ovat olleet hyvin pieniä. Japanilaisella jätevedenpuhdistamolla tehdyissä tutkimuksissa tulevan jäteveden tyypestä 0,01–0,08 % todettiin muodostuvan dityppioksidia. Tulevan jäteveden ammoniumtyypestä kaiken todettiin muuttuvan nitraattitypeksi, kun anoksisen vaiheen viipymä pidettiin 60 min. pituisena ja aerobisen vaiheen happipitoisuus tasolla 0,5 mg/l. Testattu prosessi oli jaksoittain toimiva aktiivilieteprosessi, jossa hapellinen ja hapeton sekoitus vuorottelevat. Testauksessa hapellisesta ja hapettomasta vaiheesta muodostuva

jakso toistui kolme kertaa. Näillä keinoilla päästiin tehokkaaseen nitrifikaatioon ja denitrifikaatioon ja sitä kautta alhaisiin N_2O -päästöihin. (Kimochi *et al.* 1998). Jätevedestä haihtuvan dityppioksidin määrän on myös todettu olevan alhainen, jos COD/NO_3-N -suhde on korkea, lieteikä pitkä ja pH neutraali tai emäksinen (Hanaki *et al.* 1992 lähteessä Barton & Atwater 2002). Vaikka laitoksilla tehdyissä mittauksissa ei ole havaittu suuria määriä dityppioksidia, Bartonin ja Atwaterin (2002) mukaan laboratoriodien korkeat mittaustulokset kuitenkin osoittavat, että prosessiolosuhteilla on huomattava merkitys N_2O :n muodostumisen kannalta ja tästä syystä yksittäisillä laitoksilla dityppioksidia voi muodostua paljonkin.

Jätevedenpuhdistuksesta syntyvien dityppioksidipäästöjen laskemiseksi on esitetty erilaisia laskentamalleja, jotka voivat tuottaa erisuuntaisia tuloksia. EEA:n kertoimeksi on lähteessä Tenhunen *et al.* (2000) mainittu $0,25 \text{ g dityppioksidia/m}^3$ jätevettä. Viikinmäen mittausten perusteella luotiin kerroin jäteveden puhdistuksesta syntyville N_2O -päästöille: $0,0162 \text{ kg } N_2O/\text{kg poistettua typpeä}$. Kasvihuonekaasuinventaario puolestaan ei sisällä lainkaan erillistä laskentakaavaa jätevedenpuhdistuksesta syntyvälle dityppioksidille.

8.3.3 Jäteveden käsittelyn NMVOC- päästöt

Jätevedenpuhdistusprosessista voi haihtua myös haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (NMVOC; muut kuin metaani). Haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat välillisiä kasvihuonekaasuja ja niiden ilmakehää lämmittävä vaikutus perustuu siihen, että ne voivat muodostaa alailmakehän otsonia ja metaania. Haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin lukeutuu paljon eri yhdisteitä: alifaattiset, aromaattiset ja klooratut hiilivedyt sekä mm. alkoholeja, eettereitä ja estereitä. Käsite ei kuitenkaan ole aivan yksiselitteinen. EU-lainsäädännössä VOC -yhdisteille on haihtuvuuteen perustuva määritelmä. Joillakin Euroopan mailla on lisäksi käsitteelle omia määritelmiään. Toisinaan VOC -käsitettä käytetään päästöistä puhuttaessa myös päällekkäin hiilivety-käsitteen kanssa.

Jos jätevesi sisältää VOC -yhdisteitä, näistä osa voi haihtua käsittelyn aikana, etenkin ilmastuksen ja sekoituksen yhteydessä. VOC -yhdisteet ovat peräisin esim. teollisuuden käyttämistä liuottimista ja syntyvien päästöjen suuruus riippuu yhdisteen haihduntaominaisuuksista ja pitoisuudesta. (Sree *et al.* 2000; Fred *et al.* 2008). Suomessa jäteveden sisältämän VOC:n pitoisuudet ovat yleensä alle määritysrajan. Tästä syystä laskennalliset mallit, joissa jäteveden sisältämästä VOC:stä oletetaan haihtuvan jokin tietty osa, eivät sovellu käytettäväksi täällä.

VOC -päästöjen määrää tutkittiin vuonna 1999 Wienissä kunnallista jätevettä käsittelevällä koelaitoksella. Liuottimien käyttöä ja hävittämistä koskevat nykyään Itävallassa tiukat lait ja esim. tolueenin käyttöä on rajoitettu merkittävästi. Siitä huolimatta tolueeni aiheuttaa suurimman osan hiilivetyjen haihduntapäästöistä, vaikkakin tolueenin pitoisuudet ovat testatessa olleet alhaisia. Suurin osa haihduntapäästöistä (yli 90 %) muodostui tutkimuksessa metaanista. Yhteensä tutkimuksessa saatiin päästöarvioksi 7 g C TVOC/m^3 käsiteltävää vettä. (Sree *et al.* 2000).

Helsingin Veden Viikinmäen puhdistamolla tutkittiin myös NMVOC - haihduntapäästöjen määriä. Mittaukset tehtiin ilmastoinnin poistoilmapiipusta ja poistoilmaputkesta, jolloin saatiin selville haihtuneiden NMVOC -yhdisteiden määrät poistoilmassa. Mittausten perusteella poistoilman kaikkien eri NMVOC -yhdisteiden

pitoisuus oli 148 µg/m³. Laskentamallissa NMVOC:lle asetettiin kerroin 3,23*10⁻⁵ kg NMVOC/ m³ jätevettä. (Fred *et al.* 2008).

8.3.4 Vesistössä muodostuvat dityppioksidipäästöt

IPCC (2007b) ohjeistaa arvioimaan jäteveden purkamisen seurauksena syntyvien dityppioksidipäästöjen suuruutta puhdistetun jäteveden typpipitoisuuden perusteella. Kyseisellä menetelmällä lasketut dityppioksidipäästöt kattavat puhdistetun jäteveden purkamisesta syntyvät haihduntapäästöt, eivät jäteveden käsittelystä syntyviä haihduntapäästöjä. Purkamisen N₂O -päästöt arvioidaan siis seuraavalla kaavalla:

$$\text{Päästöt (Gg N}_2\text{O)} = \text{Vesistöön päätyvä typpi (kg)} * EF_{N_2O \text{ jätevesi}} * 10^{-6} * 44/28, \quad (2)$$

missä

$$EF_{N_2O \text{ jätevesi}} = \text{päästökerroin ((kg N}_2\text{O-N) / (kg N -kuorma)), IPCC:n oletuskerroin} = 0.01$$

Dityppioksidipäästöjen määrän arvioinnissa käytetään IPCC:n oletuskerrointa.

8.3.5 Kompostoinnin ja kaatopaikkasijoituksen päästöt

Kompostointi on aerobinen käsittelymenetelmä, jonka yhteydessä kuitenkin esiintyy myös hapettumia olosuhteita, joissa muodostuu haihduntapäästöjä. Kompostoinnista syntyvän metaanin tai dityppioksidin määrää arvioidaan Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa seuraavasti:

$$\text{Päästöt (Gg CH}_4 \text{ tai Gg N}_2\text{O)} = AD * EF / 1\,000\,000, \quad (3)$$

missä

AD = Jätteen ja apuaineen määrä (t)

EF = päästökerroin (g CH₄ tai g N₂O /kg käsiteltyä jätettä)

Yhdyskunta- ja teollisuuslietteille metaanin päästökerroin on 10 g CH₄ /kg lietteen kuiva-ainetta ja dityppioksidin 0,6 g N₂O /kg lietteen kuiva-ainetta (Tilastokeskus 2009).

Kompostoinnin mahdolliseksi päästöiksi on esitetty EASEWASTE (2007) ja Lehto (2005) tutkimuksiin pohjautuen Myllymaa *et al.* (2006) mukaan seuraavia arvoja: 3 % hajoavan aineksen sisältämästä hiilestä vapautuu metaanina, 0,3–2,5 % kokonaistypestä dityppioksidina.

Jätevesilietteen kaatopaikkasijoituksesta on kasvihuonekaasuinventaariossa arvioitu syntyvän vain metaanipäästöjä. Kasvihuonekaasuinventaariossa metaanintuotanto on arvioitu jätevesilietteen sisältämän orgaanisen aineen määrän perusteella.

9 LÄMMÖN TALTEENOTTO

9.1 Yleistä

Vesihuoltolaitoksilla on useita kohteita, joista on mahdollista ottaa lämpöä talteen. Lämmön talteenottoon ja siirtämiseen on olemassa erilaisia tekniikoita, joita kuvataan seuraavassa kappaleessa 9.2. Lämmön talteenottoon sisältyy myös mahdollisuus tuottaa viilennystä absorptiojäähdystä hyödyntämällä.

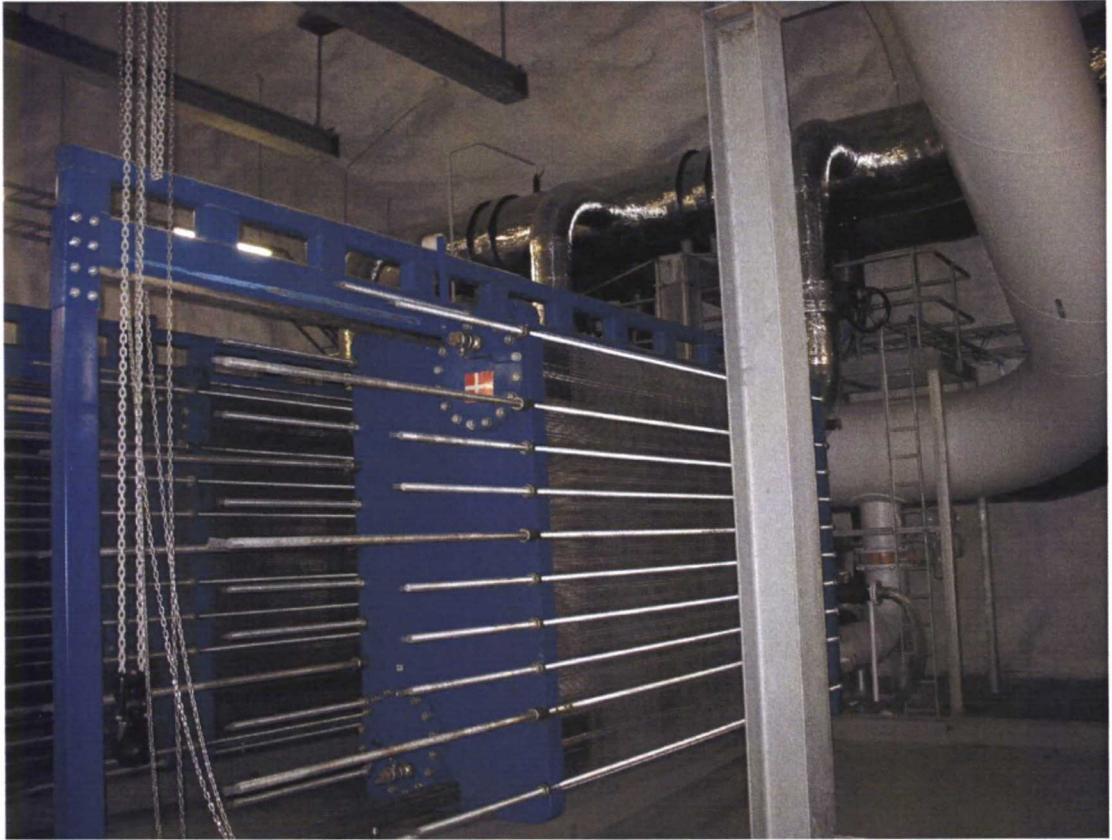
Lämmön talteenottoon on monia mahdollisuuksia etenkin jätevedenpuhdistamoilla. Kaikkein suurin lämpösisältö on puhdistetussa jätevedessä. Jätevedenpuhdistamoilla on myös kohteita, joista syntyvää hukkalämpöä voidaan ottaa talteen. Tavanomaisia kohteita ovat ilmastoinnin poistoilma, lietteenkuivaimet ja mädäte. Hukkalämpöä voidaan ottaa talteen myös sähköntuotantoon käytettävien laitteiden kuten kaasumoottoreiden ja mikroturbiinien savukaasuista. Lämmön talteenoton potentiaali on merkittävä, sillä esim. Ruotsissa hukkalämpöä otetaan jätevedenpuhdistamoilta talteen 2,5 TWh/a ja lisäpotentiaaliksi on arvioitu 1,5 TWh/a (Svenkst Vatten 2007). Vesilaitoksilla lämmön talteenoton mahdollisuudet ovat jätevedenpuhdistamoita rajallisemmat. Kuitenkin niilläkin on mahdollista ottaa lämpöä talteen esim. ilmastoinnin poistoilmasta. Myös lämmön talteenotto raakavedestä tai käsitellystä vedestä on mahdollista.

9.2 Lämmön talteenoton mahdollistavat tekniikat

9.2.1 Lämmönsiirrin

Lämmönsiirrin eli lämmönvaihdin on tekniseltä toimintaperiaatteeltaan yksinkertainen ratkaisu, jossa lämpöä siirtyy lämpimämmästä aineesta kylmempään ainevirtojen ohittaessa toisensa. Tällöin esim. samassa sylinterissä kulkevista putkista lämpimämmän ainevirran sisältävä luovuttaa lämpöä viileämpään ainevirtaan. Tällaiseen järjestelyyn perustuu esim. kaukolämpöverkon toiminta; verkossa kiertävä kuuma vesi luovuttaa kiinteistön lämmönvaihtimella lämpöä kiinteistön lämmitysjärjestelmässä kiertävälle vedelle. Lämmönsiirtimen avulla on mahdollista siirtää lämpöä myös esim. mädättämöstä lähtevästä mädätteestä mädättämöön syötettävään lietteeseen.

Alla olevassa kuvassa 17 näkyy Helsingin Energian Katri Valan kaukolämpö- ja kaukojäähdytyslaitoksella oleva jätevesilämmönsiirrin.



Kuva 17. Jätevesilämmönsiirrin Katri Valan kaukolämpö- ja kaukojäähdytyslaitoksella.

Jätevesi kulkee lämmönsiirtimeen putkissa kuvassa oikealla näkyvässä lämmönsiirtimeen osassa, jossa jätevesiputkisto risteilee yhdessä puhdasta vettä sisältävän putkiston kanssa. Etualalla näkyviä metallitankoja käytetään lämmönsiirtimeen rakenteen tiivistämiseen.

Kuvassa 18 on Hämeenlinnan Seudun Veden mädättämöllä käytössä oleva spiraalilämmönvaihdin, jonka sisällä mädättämöön tuleva ja mädättämöstä lähtevä liete risteilevät omissa putkissaan.



Kuva 18. Spiraalilämmönvaihdin, jossa kohtaavat mädättämöön tuleva ja sieltä lähtevä liete (Hämeenlinnan Seudun Vesi).

9.2.2 Lämpöpumppu

Lämpöpumppu on laite, jonka avulla on mahdollista siirtää lämpöä alemmasta lämpötilasta korkeampaan. Ilma- ja maalämpöpumput ovat yleistyneet pientalojen lämmityksessä ja lämpöpumpputekniikalle on käyttöä myös vesihuoltolaitoksilla. Lämpöpumpun toimintaperiaate muistuttaa esim. jääkaapin toimintaa: lämpöä siirretään yhdestä kohteesta toiseen sähkökäytön ja kylmäaineen avulla. Lämpöpumpun toiminta perustuu laitteen putkissa kiertävään kylmäaineeseen, joka toimii lämpöpumpussa lämpöä kuljettavana työaineena. Työaine saadaan kiertämään putkissa sähköllä toimivan kompressorin avulla. Kylmäaine on ainetta, jonka kiehumispiste on alhainen ja joka siten höyrystyy matalassa lämpötilassa. Sulamis- ja kiehumispisteiden lämpötilat toisalta riippuvat paineesta ja painetta muuttamalla kylmäaine saadaan lauhtumaan höyrystymistä korkeammassa lämpötilassa.

Lämpöpumpussa kylmäaine kiertää seuraavasti: nestemäinen kylmäaine syötetään höyrystimeen, jossa se absorboi lämpöä itseensä ympäröivästä lämmönlähteestä (ulkoilma, jätevesi, maa tms.) ja sen seurauksena höyrystyy. Tämän jälkeen tämä höyrystynyt kylmäaine johdetaan kompressoriin, jossa se puristuu ja lämpenee edelleen. Lämmin höyry johdetaan kompressorista korkeassa paineessa olevaan lauhtuttimeen, jossa höyry tiivistyy ja tiivistyessään luovuttaa lämpöä esim. lämmitysjärjestelmän

ilmaan tai veteen. Lauhduttimen jälkeen nesteen paine lasketaan paineenalennusventtiilin avulla, jonka jälkeen sykli alkaa jälleen alusta. Jotkin lämpöpumput voidaan kääntää myös toimimaan päinvastaiseen suuntaan, jolloin niiden avulla voidaan esim. jäähdyttää sisäilmaa helteillä

Laitteessa kiertävä kylmäaine liikkuu sähköllä toimivan kompressorin avulla. Kun siis tuotetaan lämpöä lämpöpumpulla, kulutetaan sähköä ja tässä mielessä lämpöpumppu on yksi sähkölämmityksen muoto. Lämpöpumpun tuomat edut ovat siten päästöjen kannalta suurimmat silloin, kun sen käytöllä korvataan suoraa sähkölämmitystä tai öljylämmitystä.

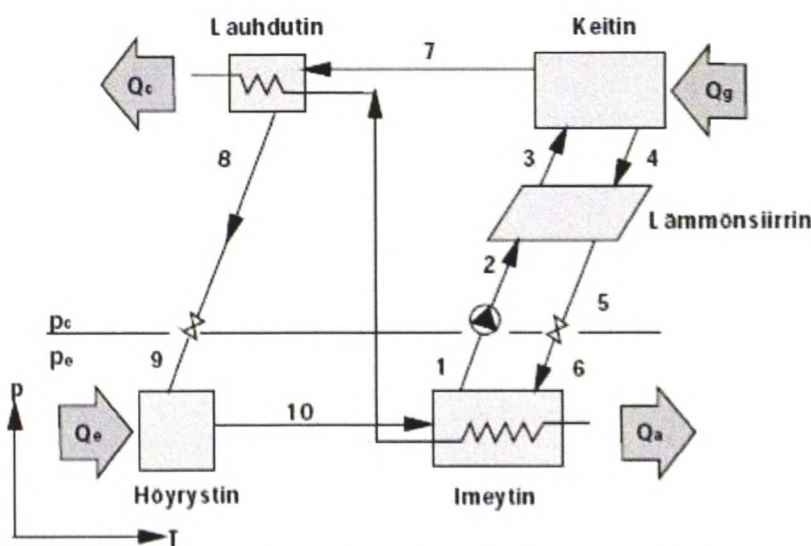
Lämpöpumpun toiminnan tehokkuutta kuvaa lämpökerroin (COP), joka ilmaisee saavutetun lämpötehon suhteessa laitteen sähkötehoon. Esim. lämpökertoimen ollessa kolme lämpöpumppu tuottaa 3 kW lämpöä ja kuluttaa samalla 1 kW:n sähköä. Lämpökerroin riippuu lämmön luovuttajan ja lämmön vastaanottajan lämpötiloista ja lämpötilaerosta. Siksi samankin lämpöpumpun lämpökerroin vaihtelee esim. vuodenajoista riippuen.

Lämpöpumpun avulla lämpöä voidaan siirtää esim. maasta lämmitysjärjestelmässä kiertävään veteen ja sitä kautta sisäilmaan (maalämpöpumppu) tai ulkoilmasta sisäilmaan (ilmalämpöpumppu). Myös vesistön pohjasta voidaan ottaa lämpöä talteen. Poistoilman lämmön talteenottoon lämpöpumppu soveltuu parhaiten silloin, kun ilmanvaihtojärjestelmän edellytetään toimivan tehokkaasti, ts. ilmanvaihtoilman määrä on suuri.

9.2.3 Absorptiojäähdytys

Absorptiojäähdytyksessä tuotetaan lämmöstä jäähdytystä absorptiokonetta käyttämällä. Lämmön lähde on ihannetapauksessa toisen prosessin hukkalämpöä. Absorptiojäähdytyksen toiminta perustuu absorptioon eli kaasun liukenemiseen nesteeseen (tai kaasuun tai kiinteään aineeseen), jolloin vapautuu lämpöä. Kuten lämpöpumppu, absorptiokonekin toimii suljetun kiertoprosessin avulla. Absorptiojäähdyttimessä kiertää osin eri reittejä kylmäainepari, yleensä joko vesilitiumbromidi tai ammoniakki-vesi (Oinonen & Soimakallio 2001). Laitteen pääosat ovat höyrystin ja lauhdutin (kuten lämpöpumpussa) sekä imeytin ja keitin.

Alla on periaatekuva absorptiolämpöpumpun toiminnasta.



Kuva 19. Absorptiokoneen toimintaperiaate (Koljonen & Sipilä 1998)

Kuvan 19 absorptiokoneessa vesi höyrystyy höyrystimellä, jonka jälkeen se johdetaan imeyttimeen, jossa vesihöyry imeytetään esim. litiumbromidiliuokseen. Tämän jälkeen nestemäinen vesi-litiumbromidiseos pumpataan imeytintä korkeammassa paineessa olevaan keittimeen, jossa vesi ja litiumbromidi eroavat toisistaan johtuen toisistaan poikkeavista höyrystymislämpötiloista. Litiumbromidi johdetaan takaisin imeyttimeen ja höyrystynyt vesi lauhduttimeen, jossa se nesteytyy. Sen jälkeen vesi johdetaan jälleen alemassa paineessa toimivaan höyrystimeen ja kierros alkaa alusta. Höyrystimen toimintaan tarvittava lämpö saadaan viilennettävästä kohteesta ja laitteen käyttöenergia keittimen lämmittämiseen käytetystä (hukka)lämmöstä. (Ranne 2001).

Absorptiojäähdytys on kannattavaa etenkin silloin, kun tarjolla on hukkalämpöä jäähdytyksen aikaansaamiseen. Absorptiojäähdytystä käytetäänkin esim. kesäaikaan viilennyksen tuottamiseen energialaitosten hukkalämmöstä.

9.3 Lämpöpumput jäteveden lämpösisällön hyödyntämisessä

Sveitsissä on n. 200 lämpölaitosta, joissa hyödynnetään jäteveden lämpösisältöä lämmityksessä (Schmid 2007). Maassa on kartoitettu ne paikkakunnat, joilla jäteveden lämpösisällön hyödyntäminen voisi olla taloudellisesti kannattavaa. Toteutuneista kohteista osassa on hyödynnetty jätevettä myös viilennykseen. Lämpösisällön hyödyntämisen vähimmäisedellytyksinä pidetään, että lämmitysjärjestelmän alueella täytyy olla joko vähintään 80 cm leveä viemäri tai vähintään 2000 asukkaan jätevedenpuhdistamo, 150 kW:n jatkuva lämmitystehon tarve ja vähintään 15 l/s jäteveden virtaama kuivalla säällä (EnergieSchweiz 2009). Lämmön talteenottoa viemäreistäkin toteutetaan. Tällöin paikallisen suosituksen mukaan jätevedenpuhdistamolle tuleva jätevesi ei saa viilentyä yli 0,5 asteella eikä sen lämpötila laskea alle 10 °C (EnergieSchweiz 2009). Jätevesilämpöpumppujen avulla saavutettava lämpötila on 50–70 °C. Jos lisäksi tarvitaan korkeampia lämpötiloja, käytetään rinnalla lämpökattilaa. (EnergieSchweiz 2009.)

9.4 Lämmön talteenotto Helsingin ja Turun jätevesistä

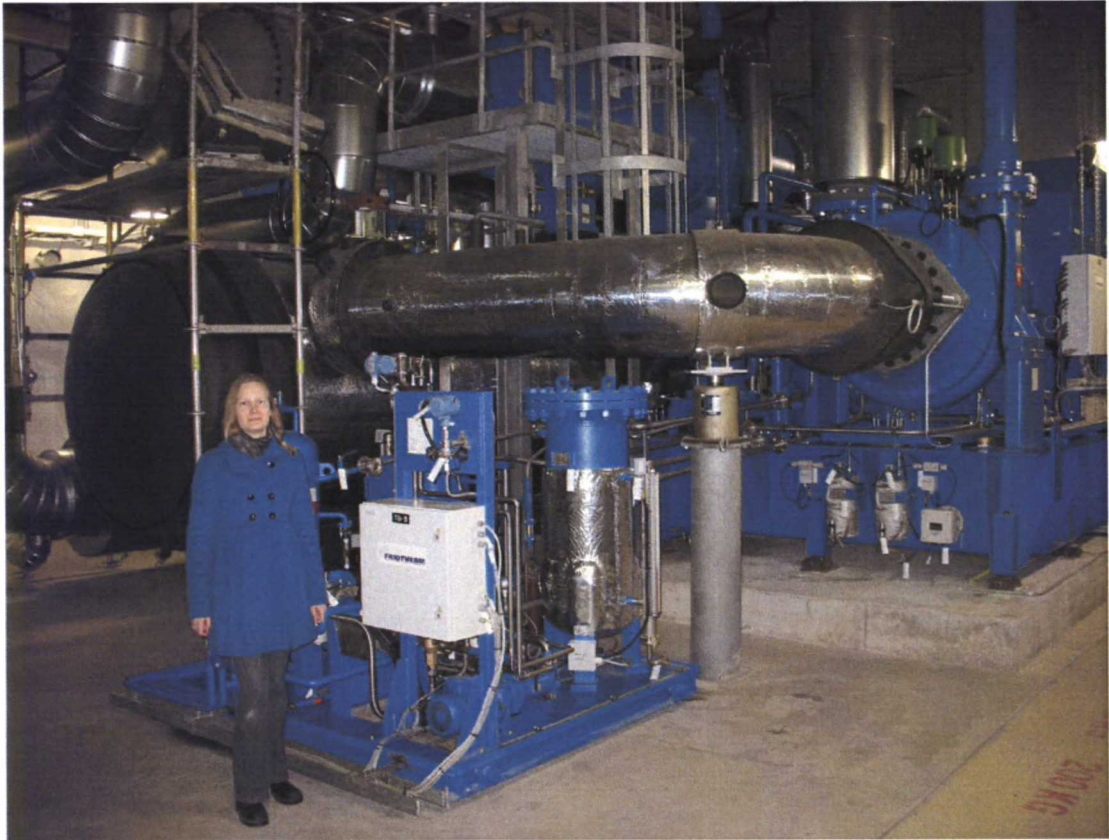


Kuva 20. Katri Valan kaukolämpö- ja kaukojäähdytyslaitos.

Jätevettä on mahdollista käyttää kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tuottamiseen. Käytännössä tällaisen laitoksen omistaa ja toiminnasta huolehtii kaukolämmön ja -jäähdytyksen toimittaja eli energiayhtiö. Lämmön talteenotto ei tällöin vaikuta vesihuoltosektorin vaan energiasektorin kasvihuonekaasupäästöihin, mutta sillä on yhtä lailla vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin koko maan tasolla. Vaikutuksen suunta riippuu siitä, mitä lämpöä jätevedestä tuotetulla lämmöllä korvataan. Jos sillä korvataan fossiililla polttoaineilla erikseen tuotettua lämpöä, päästöhyödyt ovat selvät.

Helsingissä on hyödynnetty puhdistetun jäteveden sisältämää lämpöä kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tuotantoon vuodesta 2006. Lämpö otetaan talteen Helsingin Veden Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta mereen johtavasta, purkutunnelissa virtaavasta puhdistetusta jätevedestä. Lämmön talteenotto tapahtuu lämpöpumppujen avulla. Kyseinen Katri Valan laitos hyödyntää myös merivettä kaukojäähdytyksen tuotannossa. Laitoksen kaukolämmön tuotannon maksimikapasiteetti on 90 MW ja kaukojäähdytyksen 60 MW. Kyseessä on maailman suurin tämäntyyppinen laitos. (M. Riipinen 26.2.2009).

Jätevettä käytetään laitoksella talvisin kaukolämmön tuotantoon. Lämmön talteenotto tapahtuu viidellä lämpöpumpulla, joista kussakin on 6,5 MW:n tehoinen moottori. Tällainen lämpöpumppu on lukuisista eri yksiköistä koostuva, monimutkainen ja massiivinen kokonaisuus, mikä käy ilmi myös seuraavasta kuvasta.



Kuva 21. Osa yhdestä Katri Valan laitoksen lämpöpumpusta.

Pumpuista kaikki eivät yleensä ole yhtä aikaa käytössä. Täydelle lämpöteholle on tarvetta yleensä vain lämmityskaudella, jolloin kaikki lämpöpumput ovat käytössä samanaikaisesti. Kaukojäähdytys tuotetaan talvisin meriveden avulla. Keväästä syksyyn lämpö siirretään kaukojäähdytyksen paluvedestä kaukolämpöveteen lämmönsiirtimien avulla. Lämpöpumpulaitoksella on myös mahdollisuus jäähdyttää kesäisin vain kaukojäähdytysvettä ja lauhduttaa järjestelmä meriveden avulla. Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan käytetä vaan kaikki lämpöpumpulaitoksen jäähdytysenergiatuotannosta saatava lauhdelämpö siirretään kaukolämpöverkkoon. Kaukojäähdytysjärjestelmään kuuluu kesäkäytössä tämän lämpöpumpulaitoksen lisäksi kaksi toisaalla olevaa absorptiojäähdytyskeskusta sekä erillisiä suuria jäähdytysvesivarastoja. (M. Riipinen 26.2.2009).

Katri Valan laitoksen lämpöpumppujen avulla voidaan tuottaa vuodenajasta riippuen n. 17–19 MW lämpöä. Lämmöntuotannon lämpökerroin on 3. Kun laitoksella tuotetaan sekä lämpöä että jäähdytystä, saadaan kokonaislämpökertoimeksi noin 5,5. Lämpöpumput ovat toimineet odotuksia vastaavasti ja niille on tehty vain rutiinihuoltoja. Helsingin Energialta löytyy lämpöpumppujen huoltotyöhön erikoistuneita ammattilaisia, jotka ovat osallistuneet vastaavien lämpöpumppujen huoltotyöhön myös Suomen ulkopuolella. Mahdollisissa mittavimmissa modernisoinneissa tai korjauksissa edellytetään erikoisasiantuntemusta, jollaista löytyy ainoastaan laitetoimittajalta. (M. Riipinen 26.2.2009).

Vuonna 2008 Katri Valan laitoksen avulla tuotettiin n. 140 GWh kaukolämpöä. Määrä on pieni suhteutettuna Helsingin Energian kaukolämmön kokonaistuotantoon vuonna 2008 (6600 GWh). Kesälläkin, jolloin kaukolämmön kysyntä on vähäistä, Helsingin

Energian kaukolämmön minimiteho on 200 MW eli yli kaksinkertainen Katri Valan laitoksen maksimikapasiteettiin nähden. Laitoksen avulla tuotetaan kuitenkin lämpöä huippukulutuksen aikana, jolloin se korvaa lämmön erillistuotantoa, joissa polttoaineena tyypillisesti on öljy tai maakaasu. Näin ollen laitoksen toiminnasta syntyvät kasvihuonekaasujen säästöt voivat olla merkittäviä. (M. Riipinen 26.2.2009).

Lämpö- ja jäähdytyslaitoksen rakentamista on selvitetty Helsingin Energiassa 1980-luvulta asti, mutta rakentamisesta tuli teknistaloudellisesti perusteltua vasta 2000-luvulla, kun kaukojäähdytystoiminnasta tuli todellista liiketoimintaa. Kannattavuuteen vaikutti ratkaisevasti Kauppa- ja teollisuusministeriöltä saatu 3,7 miljoonaa euron avustus. Laitoksen kokonaishinta oli n. 40 miljoonaa euroa. Näistä tekijöistä huolimatta laitoksen toteuttaminen oli vain juuri ja juuri perusteltua. Lämpöpumppulaitoksen vaihtoehtoina olivat perinteisen kaukolämpölaitoksen rakentaminen ja absorptiojäähdytyskapasiteetin lisääminen. Investointituen ja kaukojäähdytyksen hyödyntämisen lisäksi vastaavien laitosten perustamisen kannalta keskeisiä kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat energiayhtiön oman lämmöntuotannon määrä sekä polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnat. (M. Riipinen 26.2.2009).

Turun Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolle on myös rakennettu lämpöpumppujärjestelmä, josta siirretään lämpöä kaukolämpöverkkoon ja tuotetaan kaukokylmää. Laitoksessa on yksi lämpöpumppu, jonka sähkömoottorin teho on 6,5 MW, lämmöntuottoteho 19,0 MW ja kylmäteho 13,5 MW. Lämpöpumppu on samanlainen kuin Helsingissä olevat ja myös toiselle samanlaiselle lämpöpumpulle on varattu tilaa. Lämpöpumppulaitos on otettu käyttöön huhtikuussa 2009. Lämmön talteenotto tapahtuu puhdistetusta jätevedestä puhdistamon alueella heti prosessin viimeisen yksikön, hiekkasuodatuksen, jälkeen. Puhdistetusta jätevedestä tuotetaan kaukolämpöä lämpöpumpun avulla ja samalla jäähtynyttä jätevettä voidaan käyttää kaukokylmäverkon veden jäähdyttämiseen. Jäähdytysjärjestelmään kuuluu myös kylmäakku, johon tarvittaessa johdetaan neljäasteista jätevettä. Kylmäakku on suuri, tilavuudeltaan 17 000 m³ eristämätön avoallas, jonka sisältämällä vedellä voidaan tarvittaessa jäähdyttää kaukokylmäverkon vettä. Laitoksen lämmöntuotannon maksimiteho on 19 MW ja sillä on arvioitu tuotettavan 150 GWh lämpöä vuodessa. Kaukokylmän tuotannon maksimiteho on 13,5 MW, kylmäakkua käytettäessä 35 MW ja tuotettava määrä toistaiseksi korkeintaan 50 GWh vuodessa. (I. Syrjälä 4.3.2009).

Turun kaukolämpö- ja kaukokylmälaitosta alettiin suunnitella vuonna 2005, kun kaukokylmän tuotannon lisääminen tuli ajankohtaiseksi. Laitoksen rakentamista varten saatiin Kauppa- ja teollisuusministeriöltä investointiavustus. Vaikka kaukokylmä oli keskeisessä asemassa laitosta suunniteltaessa, olisi laitos saattanut investointiavustuksen tuella muodostua kannattavaksi pelkän kaukolämmönkin tuottamiseen. Investoinnin kannattavuuslaskelmissa huomioitiin polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnat – ne tosin ovat ehtineet muuttua matkan varrella moneen kertaan. (I. Syrjälä 4.3.2009).

Turku Energia korvaa laitoksen lämmöllä Naantalin yhteistuotantolämpöä ja osin myös lämmön erillistuotantoa. Korvattavat polttoaineet ovat tällöin lähinnä kivihiihi ja öljy. Kaukolämpö- ja kaukokylmälaitoksen rakentaminen liittyy osaltaan Turku Energian tavoitteeseen nostaa CO₂-neutraalin lämmön osuus yhtiön toiminnasta lähivuosina 50 %:iin nykyisestä vajaasta 25 %:sta. Hankkeen avulla Turku Energia on arvioinut voivansa säästää päästöjään 50 000 tonnia CO₂-ekv. (I. Syrjälä 4.3.2009).

9.5 Lämmönkäytön tehostaminen

Sekä vesi- että jätevesilaitoksilla lämmitetään monenlaisia tiloja. Tällaisia ovat toimistorakennukset, henkilökunnan tilat, laboratorio ja tulopumppauksen, välppäyksen, sakeutuksen ja muun lietteenkäsittelyn sisältävät tilat. Osassa näistä kohteista voidaan kyseenalaistaa, tarvitaanko niillä lämmitystä ja kuinka paljon. Tulopumppaus, välppäys ja lietteen sakeutus sijaitsevat usein huonosti eristetyissä tiloissa. Jos tällaisessa tilassa tuloilmaa lämmitetään tai lämmitys on muuten jatkuvasti päällä, voi sähkönkulutus olla merkittävää, vaikka tilojen lämpötila ei olisi erityisen korkea. Vesilaitoksilla voidaan arvioida prosessitilojen todellista lämmitystarvetta ja harkita siirtymistä kuivureiden käyttöön kohteissa, joissa lämmityksellä torjutaan kosteuden kondensoitumista.

Jätevedenpuhdistamolla voidaan selvittää muualta saatavan hukkalämmön hyödyntämisen mahdollisuudet. Hukkalämpöä voi syntyä teollisuuden ja energialaitosten toiminnasta. Erityisesti lietteenkuivaus on oivallinen kohde hukkalämmön hyödyntämiseen. Vesistöjen läheisyydessä toimivat laitokset voivat mahdollisesti käyttää vettä lämmön tai viilennyksen tuottamiseen. Sähköllä tilojaan lämmittävät vesihuoltolaitokset voivat harkita jätevesilämpöpumppujen tai maalämmön käyttöönottoa. Näiden avulla lämmitykseen tarvittavaa sähkönkulutusta tai esim. öljylämmityksen päästöjä voidaan vähentää.

10 ENERGiantuotanto

10.1 Yleistä

Energian tuottaminen vedestä tai jätevedestä voi perustua joko jäteveden sisältämän orgaanisen aineen energiasisällön tai veden tai jäteveden mahdollisen hydrostaattisen energiasisällön hyödyntämiseen. Hydrostaattisen energiasisällön hyödyntämismahdollisuudet vaihtelevat, sen sijaan orgaanista ainetta jätevesi sisältää aina. Orgaanisen aineen hyödyntämiseen on olemassa eri menetelmiä ja tyypillisesti hyödyntäminen tapahtuu jätevesilietteestä. Menetelmät perustuvat joko jäteveden orgaanisen aineen termiseen tai biologiseen käsittelyyn. Biologisista menetelmistä tunnetuin on mädätys, termisistä menetelmistä lietteenpoltto. Vesihuoltolaitosten mahdollisuudet omaan energiantuotantoon ovat merkittävät ja esim. Sveitsissä jätevedenpuhdistamot tuottavat vuodessa sähköä yli 100 miljoonaa kWh (EnergieSchweiz 2009).

10.2 Biokaasutus

10.2.1 Yleistä

Biokaasutus eli mädätys on yksi mahdollinen tapa stabiloida liete. Mädätyksen sivutuotteena syntyy biokaasua, joka voidaan hyödyntää energiana. Hyvin toimivassa mädätysprosessissa hajoaa 50–60 % lietteen sisältämästä orgaanisesta aineesta (Latvala 2009). Lisäksi lietteen sisältämiä patogeenejä tuhoutuu ja haitta-aineita hajoaa; termofiilisessä mädätyksessä liete hygienisoituu mesofiilistä mädätystä korkeamman lämpötilan ansiosta. Mädätyksen jälkeen liete yleensä kuivataan mekaanisesti ennen loppukäsittelyä. Mädätetty liete on helpompi kuivata korkeampaan kuiva-ainepitoisuuteen kuin mädättämätön liete. Loppukäsittelynä mädätetty liete tavallisesti kompostoidaan, joskin se voidaan myös kuivata termisesti ja tai polttaa.

Vuoden 2006 lopussa kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden yhteydessä toimivien mädättämöiden määrä oli 14 ja näiden lisäksi oli kolme teollisuuden jätevesilietettä mädättävää laitosta. Lisäksi Suomessa oli vuonna 2006 kolme orgaanista jätettä mädättävää laitosta. Kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla tuotettiin n. 23 miljoonaa m³ biokaasua ja tästä kaasusta metaania oli n. 62 %. Kaasusta hyödynnettiin lämmön, sähkön ja mekaanisen energian tuottamiseen n. 20 miljoonaa m³, joten hyödyntämisaste oli 86 %. Tuotetusta energiasta noin neljännes oli sähköä. Jätevedenpuhdistamoilta tulevaa lietettä mädättävien laitosten määrää Suomessa voidaan pitää alhaisena – esim. Saksassa mädätystä voidaan olosuhteista riippuen pitää kannattavana 10 000–20 000 AVL:n laitoksilla (C. Mauer 13.2.2009). Mädätyksen taloudellinen kannattavuus riippuu paljolti sähkön hinnasta, joka Saksassa on korkeampi kuin Suomessa. Myös biokaasulla tuotetun sähkön syöttötariffi on Saksassa käytössä ja parantaisi varmasti uusien laitosten perustamisen kannattavuutta myös Suomessa. Uusien, laitoksien yhteyteen perustettavien mädättämöiden lisäksi lietettä voitaisiin kuitenkin Suomessakin kuljettaa nykyistä useammin yhteismädätykseen, jolloin lietteen energiasisältöä saataisiin nykyistä paremmin hyödynnettynä.

Jätevedenpuhdistamoilta syntyvä biokaasu sisältää tyypillisesti n. 60–65 % metaania (Kuittinen *et al.* 2006), jonka alempi lämpöarvo on n. 50 MJ/kg. Jätevesilietteen metaanintuottopotentiali on eri tavoin ilmaistuna 310–640 m³ CH₄/t orgaanista ainetta tai 8–16 m³ CH₄/tonni märkää lietettä (Lehtomäki & Rintala lähteessä Latvala 2009).

Mädätysprosessin ylläpitäminen kuluttaa energiaa etupäässä prosessin vaatiman lämmön muodossa. Lämpöä tarvitaan mädättämöön tulevan lietteen lämmittämiseen ja mädättämön pitämiseen oikeassa lämpötilassa. Sähköä puolestaan kuluu pumpattaessa lietettä mädättämöön, mädättämön sekoituksessa ja pumppauksessa lämmönvaihtimien läpi. (Kjellén & Andersson 2002). Mesofiilisessa mädätyksessä lietteen lämpötilan on oltava n. 35–37 °C, termofiilisessa n. 55–57 °C. Suomessa olevista, jätevesilietettä mädättävistä laitoksista enemmistö on tällä hetkellä mesofiilisiä. Vaasan Stormossenin mädättämöllä käsitellään myös jätevesilietettä termofiilisessä prosessissa. Mädättämällä 1000 tonnia lietettä termofiilisesti on mahdollista tuottaa n. 1100 GJ lämpöä. Termofiilisen mädätyksen energiankulutus on vastaavasti n. 300 GJ/ 1000 tonnia lietettä. Tästä sähkön osuus on n. 60 MJ/ tonni ja lämmön osuus n. 240 MJ/tonni. (Myllymaa *et al.* 2008b). SYKE:n julkaisussa määrän jätevesilietteen biokaasutuksesta saatavaksi energiaylimääräksi on ilmoitettu 299 kWh/t (Myllymaa *et al.* 2006). Määrä ilmaisee, kuinka paljon energiaa jää jäljelle prosessin tarvitseman energiankulutuksen jälkeen.

10.2.2 Kaasuntuoton tehostamismahdollisuudet

Mädätyksen kaasuntuotto on riippuvainen mädätysolosuhteista ja mädätettävän lietteen ominaisuuksista, mistä johtuen kaasuntuoton määrään on mahdollista vaikuttaa. Yksinkertaisimmillaan mädätysprosessia voidaan tehostaa siten, että mädätettävän aineen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan. Tällöin kaasuntuotto reaktoritilavuutta kohden kasvaa. Yleisesti käytetty esikäsittelymenetelmä on lietteen syöttäminen repijäpumpun kautta, jolloin suurimmat esineet (lähinnä vierasesineet) saadaan hajotettua vaarattoman kokoisiksi. Biokaasun suhteellista kaasuntuottoa reaktoritilavuutta kohden voidaan kasvattaa myös mädättämällä jätevesilietettä yhdessä biojätteen kanssa. Mädättämön käyttöä voidaan tehostaa lisäämällä sakeutusvaiheeseen polymeeriä, jolloin mädättämöön menevä liete on tiiviimpää ja mädättämön tilavuus siten käytettävissä suuremman kiintoainemäärän mädättämiseen. Vastaavasti mädättämön käyttö tehostuu, jos mädätykseen saadaan ohjattua aiempaa suurempi määrä raakalietettä, koska raakaliete sisältää ylijäämalietettä enemmän hajoavaa orgaanista ainetta. Tämä voi tapahtua esim. esisaostamalla lietettä ferrosulfaatin avulla. Samalla biologiseen käsittelyyn menevän orgaanisen aineen määrä vähenee.

Kaasuntuoton lisääminen voi tapahtua myös esikäsitlemällä lietettä eri tavoin ennen sen syöttämistä mädättämöön. Tehostamisen tuloksena lietteen sisältämästä orgaanisesta aineesta saadaan tuotettua aiempaa enemmän biokaasua. Menetelmät voivat olla fysikaalisia, kemiallisia, termisiä, mekaanisia tai biologisia. Mahdollisia menetelmiä ovat esim. kuumentaminen joko perinteisesti tai mikroaaltojen avulla, ultraäänikäsittely, otsonin käyttö, entsyymien käyttö, märkähapetus, HPF-fragmentoija ja kuulamyly. (Rulkens 2008; Pöyry 2007). Esikäsittelyssä lietteen sisältämää orgaanista ainetta tyypillisesti hajotetaan pienemmäksi jopa solutasolla, esim. ultraäänikäsittelyssä ultraäänien avulla. Menetelmän avulla voidaan tehostaa vedenerotusta ja helpottaa biokaasua tuottavien mikrobien ravinnonsaantia, jolloin biokaasua muodostuu enemmän. Ultraäänikäsittely on käytössä Keski-Euroopassa ja Suomessakin VTT on kehittänyt ultraäänifragmentointia. Lisäksi on useita vähemmän käytettyjä ja vielä kehitty- tai pilotointiasteella olevia menetelmiä.

Esikäsittelyillä voi olla huomattavasti mädätyksen kaasuntuottoa lisäävä vaikutus (Rulkens 2008). Monet menetelmistä kuitenkin myös kuluttavat merkittävästi sähköä. Tämä voi johtaa pahimmillaan siihen, että esikäsittelylaitteiston sähkönkulutuksesta

johtuen lisääntyneestä biokaasun tuotosta ei synny energiahyötyä tai sähköä kuluu jopa enemmän kuin kaasuntuoton lisäyksestä pystytään tuottamaan. Tästä huolimatta esikäsittelyn käyttöönotto voi olla perusteltua esim. silloin, kun olemassa oleva mädättämökapasiteetti on riittämätön ja esikäsittely ei muuta energiatasetta negatiiviseksi. Esikäsittelyn käyttöönottoa harkitessa kokonaisuuden energiatase on kuitenkin hyvä selvittää etukäteen. Tämä voi tapahtua sekä laboratoriossa että paikan päällä tehdyin kokein. (Haberker *et al.* 2008).

10.3 Kaasun energiahyödyntäminen

10.3.1 Yleistä

Yksinkertaisimmillaan biokaasu voidaan hyödyntää energiana polttamalla se kaasukattilassa ja ottamalla talteen poltossa syntyvä lämpö. Biokaasusta on myös mahdollista tuottaa sähköä ja lämpöä tai se voidaan metaaniksi puhdistettuna hyödyntää ajoneuvopolttoaineena tai syöttää maakaasuverkkoon. Kehitteillä on myös biokaasuprosessin muuntaminen sellaiseksi, että sen avulla voitaisiin valmistaa vetyä. Sähköntuotantoon on käytössä muutamia eri tekniikoita, joista yleisimmät ovat kaasumoottori ja mikroturbiini. Eri hyödyntämismenetelmillä saavutettavat päästöhyödyt riippuvat siitä, mitä polttoainetta biokaasulla korvataan.

10.3.2 Lämpökattila

Yksinkertaisin tapa hyödyntää biokaasun sisältämä kemiallinen energia on polttaa biokaasu ja hyödyntää poltosta syntyvä lämpö kaasukattilassa. Syntyvää lämpöä voidaan käyttää jätevedenpuhdistamon tilojen lämmittämiseen. Myös lämmönsyöttö kaukolämpöverkkoon on mahdollista, kuten tehdään esim. Lahden ja Hämeenlinnan jätevedenpuhdistamoilla.

Biokaasun hyödyntäminen lämpönä on päästöjen kannalta edullista silloin, kun sen avulla korvataan fossiilisilla polttoaineilla tuotettua lämpöä. Ongelmana kuitenkin on, että päinvastoin kuin sähkölle, lämmölle ei välttämättä ole kesäisin juurikaan kysyntää. Tällöin biokaasusta merkittävä osa voi jäädä hyödyntämättä. Lisäksi myös tuotettaessa sähköä biokaasun avulla voidaan samalla syntyvä hukkalämpö hyödyntää lämmityksessä. Kaasukattila on kuitenkin laitosten kannalta sikäli hyvä hyödyntämismenetelmä, että kattilan hankintahinta on edullinen ja investoinnin takaisinmaksuaika lyhyt. Lisäksi kaasukattila edellyttää vain vähän huoltoa ja ylläpitoa.

10.3.3 Kaasumoottori

Kaasumoottorilla on mahdollista tuottaa sähköä ja lämpöä biokaasusta. Suomesakin kaasumoottoreita on käytössä useilla jätevedenpuhdistamoilla ja käytöstä on pitkä kokemus. Kaasumoottori muistuttaa tavallista polttomoottoria, mutta polttoaineena on kaasu, joka voi olla esim. juuri biokaasua. Moottori pyörittää generaattoria, jonka avulla tuotetaan sähköä. Syntyvistä savukaasuista ja jäähdytysvedestä on mahdollista ottaa talteen sähköntuotannon sivutuotteena syntyvää lämpöä. Jos myös tämä moottorin tuottama lämpö hyödynnetään, saavutetaan korkea, 80–90 %:n kokonaishyötysuhde. Yksistään sähköntuotantoon käytettäessä kaasumoottorin hyötysuhde jää n. 35 %:iin; pienimmillä yksiköillä hyötysuhde on tätä alhaisempi.

Kaasumoottori soveltuu hyvin suuren mittakaavan energiantuotantoon, jolloin moottorin teho on tuhansia kilowatteja. Pienimmät kaasumoottorit ovat kuitenkin teholtaan 10 kW_e:n luokkaa. Tekniikan kehittymisen myötä uusimmat kaasumoottorit

sietävät myös hyvin biokaasun sisältämiä epäpuhtauksia. Lisäksi uusia, pieniä malleja on kehitetty nimenomaan biokaasukäyttöä varten.

10.3.4 Mikroturbiini

Mikroturbiini soveltuu sähkön ja lämmön tuottamiseen biokaasusta. Mikroturbiinien fyysinen koko vaihtelee käteen mahtuvista jääkaapin kokoisiin. Yhden mikroturbiinin teho on tyypillisesti välillä 25–500 kW, joskin mahdolliset tehot vaihtelevat yhdestä kW:sta satoihin. Suomessa toimivat mikroturbiinilaitokset on yleensä koottu rinnakkaisista 30 kW:n mikroturbiiniyksiköistä. Yksistään sähköntuotantoon käytettynä mikroturbiinin hyötysuhde jää 25–40 %:iin, sähkön ja lämmön yhteistuotannossa tyypillinen hyötysuhde on 80 % (Soares 2007).

Mikroturbiinista syntyvät päästöt jäävät niin alhaisiksi, ettei erillistä savukaasunpuhdistusta tarvita. Päästöjen pääkomponentit ovat typen oksidit (NOX), hiilimonoksidi (CO) ja hiilivedyt (HC). Päästöjen määrä kuitenkin nousee, jos ei turbiinia käytetä täydellä teholla. Mikroturbiinien etuihin lukeutuvat myös vähäinen melu ja tärinä ja kaasumoottoria alhaisemmat asennus-, huolto- ja kunnossapitokustannukset. (Soares 2007).

Suomessa mikroturbiineja on ollut käytössä vuodesta 2003 lähtien. Tiettävästi niitä ei ole vielä käytössä yhdelläkään suomalaisella jätevedenpuhdistamolla. Sen sijaan biokaasukäyttöisiä mikroturbiineja toimii useilla kaatopaikoilla eri puolilla Suomea. Alla on kuva Päijät-Hämeen Jätehuollon kaatopaikalla toimivasta mikroturbiinilaitoksesta Lahdesta.



Kuva 22. Päijät-Hämeen jätehuollon kaatopaikalla toimiva mikroturbiinilaitos Lahdessa. Mikroturbiiniyksiköt (2 kpl) näkyvät kuvassa vasemmalla, taustalla puolestaan biokaasun puhdistukseen käytettävät aktiivihiilisuodattimet.

10.3.5 Stirlingmoottori

Stirlingmoottori on yksi mahdollinen tekniikka sähkön tuottamiseen biokaasusta. Keksintö itsessään on vanha, mutta sitä on uudestaan alettu kehitellä viime vuosina. Stirlingmoottorin erityispiirre on, että sähkö tuotetaan lämpötilaeron avulla. Mitä suurempi lämpötilaero lämmönlähteen ja ympäristön välillä on, sitä tehokkaammin laite toimii. Käytännössä tarvitaan 700–800 asteen lämpötilaero moottorin käynnistämiseen (H. Partanen 17.2.2009).

Stirlingmoottori muistuttaa toiminnaltaan tavallista polttomoottoria, mutta stirlingmoottorissa palaminen tapahtuu sylintereiden ulkopuolella. Sylintereiden lämpiämisen ja jäähtymisen seurauksena työkaasun tilavuus muuttuu, mikä taas saa männän liikkumaan. Työkaasu voi olla esim. heliumia, ilmaa tai vetyä. Monenlaisten polttoaineiden käyttäminen on mahdollista ja laitteen aiheuttamat päästöt riippuvat siitä, mitä polttoainetta käytetään. Koska palaminen tapahtuu sylintereiden ulkopuolella, lämpö voidaan tuoda savukaasuista moottorille lämmönvaihtimen kautta. Tällöin kontaktipinnat pysyvät puhtaina.

Stirlingmoottorin etuja ovat hiljaisuus, vähäinen värinä, vähäinen huoltotarve ja se, että sitä voi käyttää hukkalämpökohteissa. Ensimmäiset markkinoille tulleet mallit ovat olleet maakaasukäyttöisiä, mutta muutkin polttoaineet kuten öljy, puu tai biokaasu ovat mahdollisia. Sähköntuotannon hyötysuhde on 25–30 %, joskin tekniikan kehittyessä hyötysuhteen voidaan olettaa nousevan. Lämmön talteenottoon yhdistettynä kokonaishyötysuhde nousee 80 %:iin (Stirling Biopower 2008).

Stirlingmoottorien kokoluokka on alle 100 kW_e. Ulkoisesta palamisesta johtuen huoltoväli on pidempi kuin kaasus- ja dieselmootoreilla, mikä on kustannusten kannalta merkittävä etu erityisesti hyvin pienessä kokoluokassa (< 30 kW), jossa stirlingmoottori on kilpailukykyinen kaasus- ja dieselmootoreiden kanssa. Tällä hetkellä stirlingmootoreiden hinnat ovat vielä korkeita, mutta tippunevat massatuotannon alkaessa. Stirlingmoottori voisi olla sopiva ratkaisu pienten jätevedenpuhdistamoiden omaan sähkön- ja lämmöntuotantoon. (Vartiainen *et al.* 2002).

10.3.6 Polttokenno

Polttokennotekniikan käyttö jätevedenpuhdistamoilta saatavan biokaasun energiahyödyntämiseen olisi kiinnostavaa polttokennojen korkean sähköntuotannon hyötysuhteen ansiosta. Polttokennotekniikan kehittyminen on tällä hetkellä vielä pääosin esikaupallisessa vaiheessa. Biokaasu on kuitenkin yksi mahdollinen polttokennojen ”polttoaine” ja tekniikkaa kehitetään aktiivisesti myös Suomessa.

Polttokennotyypeistä kiinteäoksidipolttokenno (SOFC), fosforihappopolttokenno (PAFC) sulakarbonaattipolttokenno (MCFC) ja polymeerielektrolyyttipolttokenno (PEMFC) ovat mahdollisia biokaasukäyttöisiä polttokennoja (IEA 2009). Jotta biokaasua voi käyttää polttokennon energianlähteenä, se täytyy ensin puhdistaa metaaniksi. Vaihtoehtoisesti biokaasua voidaan myös reformoida vedyksi ja käyttää vetyä polttoaineena. Polttokennojen sähköntuotannon hyötysuhde on korkeampi kuin esim. kaasumootoreiden, n. 50 %. Lämmön talteenottoon yhdistettynä kokonaishyötysuhde nousee 80–90 %:iin.

Korkean sähköntuotannon hyötysuhteen lisäksi polttokennojen etuna on, että niitä on myös hyvin pienessä teholuokassa, jolloin ne voisivat kokonsa puolesta sopia pienillekin jätevedenpuhdistamoille. Kiinteäoksidipolttokennojen tehot ovat pienimmillään 5 kW:n luokkaa, polymeeripolttokennoissa pienimmät yksiköt ovat 1 kW:n suuruisia (EG&G 2004). Tekniikka on kuitenkin edelleen kehitysvaiheessa eikä taloudellisesti kannattavia yksiköitä liene lähiaikoina mahdollista hankkia jätevedenpuhdistamoille.

10.3.7 Käyttö ajoneuvopolttoaineena

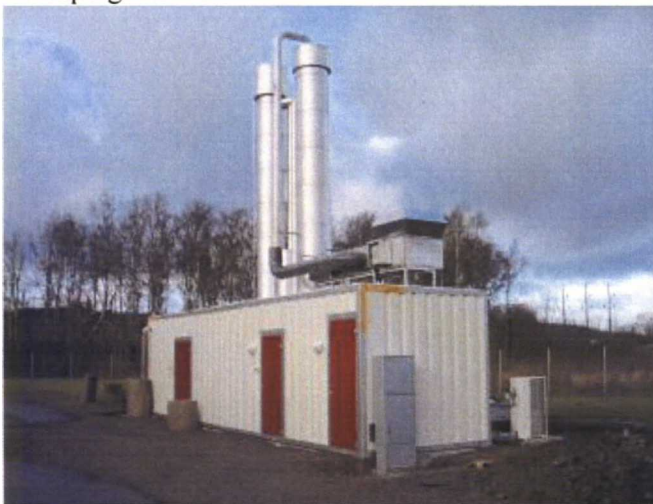
Yksi biokaasun energiahyödyntämisen tapa on kaasun jalostaminen polttoaineeksi. Kun biokaasusta poistetaan sen sisältämä hiilidioksidi, kaasun metaanipitoisuus ja samalla lämpöarvo saadaan nousemaan maakaasuun verrattavalle tasolle. Hiilidioksidin lisäksi biokaasusta täytyy poistaa korroosiota ja ympäristö- ja terveyshaittoja aiheuttavia epäpuhtauksia. Tyypillisesti tällaisia aineita ovat rikkivety, ammoniakki, kosteus ja pienhiukkaset, joskin tapauskohtaisesti saatetaan joutua poistamaan muitakin epäpuhtauksia. Puhdistuksen jälkeen kaasu paineistetaan ja tankataan ajoneuvoihin tavallisimmin 200 barin paineessa (Latvala 2009). Myös puhdistetun biokaasun syöttäminen maakaasuverkkoon on mahdollista. Tällöin kaasuun saatetaan joutua

lisäämään jotain hiilivetyä oikean lämpöarvon saavuttamiseksi. (Svenska Biogasföreningen 2008; IEA 2009.)

Biokaasun jalostamiseksi polttoainekäyttöön on olemassa erilaisia tekniikoita. Tekniikoista tavallisin on painevesiabsorptio eli vesipesu. Menetelmässä hiilidioksidi, rikkivetyä ja ammoniakkia poistetaan liuottamalla ne veteen. Tämä tapahtuu tyypillisesti syöttämällä paineistettua biokaasua vesisuihkun läpi. Hiilidioksidin liukeneminen veteen on sitä suurempaa, mitä korkeammassa paineessa ja matalammassa lämpötilassa liukeneminen tapahtuu. Toinen menetelmä on PSA (Pressure Swing Absorption, tunnetaan myös nimellä myös carbon molecular sieve), jossa hiilidioksidi, happi, typpi ja rikkivety sitoutuvat esim. aktiivihiiileen. Menetelmässä voidaan käyttää kaasun eri paineita ja hiilen eri huokoskokoja eri aineiden poistamiseen. Muita keinoja ovat epäpuhtauksien absorbointi esim. Selexoliin, eräänlaiseen glykoliliuokseen (polyethylene glycol absorption), muu kemiallinen absorptio ja kalvoerotustekniikka. (Svenska Biogasföreningen 2008, IEA 2009.) Kaikilla kaasunpuhdistustekniikoilla on mahdollista saavuttaa n. 95 % saanto. Kaasunpuhdistus kuluttaa 3–6 % puhdistetun kaasun energiasisällöstä. Lisäksi kaasun paineistaminen kuluttaa energiaa.

Biokaasun jalostaminen ajoneuvopolttoainekäyttöön edellyttää suhteellisen suurta panostusta kaasun esikäsittelyyn. Jalostukseen tarvitaan verrattain suuria investointeja ja myös jalostamon käyttökustannukset ovat melko suuret (Latvala 2009). Ruotsissa käsittelyn kustannukset on arvioitu n. 0,1–0,4 kr/ kWh eli 1–4 snt/ kWh suuruisiksi. Alimmillaan kustannukset ovat suurissa laitoksissa, jotka käsittelevät biokaasua 200–300 m³/h. (Persson 2003).

Kuvassa 23 näkyy biokaasun jalostuslaitos Hulesjön jätevedenpuhdistamolta Ruotsin Falköpingin kunnasta.



Kuva 23. Biokaasun jalostuslaitos Ruotsin Falköpingissä. Kuva: Anders Johansson, Falköpingin kunta.

Hulesjön jätevedenpuhdistamolta syntyy puhdistamatonta biokaasua n. 1600 m³/d. Jalostuslaitoksessa kaasusta poistetaan hiilidioksidiä, vettä ja pieniä määriä rikkivetyä ja happea. Käsittelyssä kaasun metaanipitoisuus nousee alkutilanteen n. 65 %:sta lopputuotteen n. 97 %:iin, jonka jälkeen se pumpataan Ällebergin keskustassa sijaitsevalle jakeluasemalle. Falköpingin kunnassa mm. kaikki kaupungin bussit ovat biokaasukäyttöisiä. (Falköpingin kunta 2009).

Jotta biokaasua voisi käyttää ajoneuvopolttoaineena, sitä varten täytyy olla sekä kaasukäyttöisiä ajoneuvoja että niiden tankkausasemia. Maakaasun julkisia tankkausasemia on tällä hetkellä Suomessa yksitoista ja niitä sijaitsee pääkaupunkiseudulta eteläiseen Kymenlaaksoon ulottuvalla alueella ja lisäksi Tampereella ja Riihimäellä. Omankin tankkausaseman perustaminen on mahdollista, jos kiinteistö on kytketty maakaasuverkkoon. Tämä tulee kuitenkin hintansa puolesta kyseeseen lähinnä yritysten kohdalla, joskin tulevaisuudessa oman tankkausaseman hinta todennäköisesti laskee. Vertailun vuoksi esim. Ruotsissa on yli 90 julkista kaasuntankkausasemaa. (Gasum 2009; Haminan Energia 2009, Svenska Biogasföreningen 2009).

Tankkausasemien lisäksi tarvitaan kaasukäyttöisten autojen kanta, jotta ajoneuvopolttoaineen tarjoaminen olisi järkevää. Biokaasua voi käyttää maakaasuauton polttoaineena ja päinvastoin. Etenkin suurilta mädättämöiltä syntyy niin paljon biokaasua, että polttoaineen valmistaminen ja tarjoaminen ensisijaisena biokaasun hyödyntämisuotona edellyttäisi suurta autokantaa. Kaasukäyttöisiä autoja on nykyään saatavilla niin henkilöautoina, jäteautoina, kuorma-autoina kuin busseinakin ja niitä löytyy Suomestakin useita eri valmistajien malleja. Kaasukäyttöisissä henkilöautoissa on yleensä kaksoispolttoainejärjestelmä eli niissä on kaksi erillistä tankkia; toinen kaasulle ja toinen bensiinille. Raskaiden ajoneuvojen toiminta puolestaan perustuu yksinomaan kaasukäyttöön. Kaasukäyttöisten autojen etuja ovat, että ne aiheuttavat vähemmän melua kuin tavanomaiset autot ja niiden pakokaasut haisevat vähemmän. Niiden toimintaetäisyys on noin 250–400 km, mistä johtuen ne soveltuvat parhaiten käytettäväksi lyhyillä matkoilla, esim. kaupunkiliikenteessä. (Svenska Biogasföreningen 2009). Maakaasuautot ovat hankintahinnaltaan 10–30 % kalliimpia kuin vastaavat bensiinikäyttöiset mallit (Gasum 2009).

10.4 Lietteenpoltto

10.4.1 Yleistä

Lietteenpoltto voidaan tapauskohtaisesti tulkita joko lietteen hävittämiseksi tai hyödyntämiseksi. Sen yhteydessä on mahdollista tuottaa energiaa, jos lietteen kuiva-ainepitoisuus on tarpeeksi korkea ja laitos on suunniteltu energiaa tuottavaksi.

Lietteenpoltossa lietteen sisältämä orgaaninen aine hapettuu korkeassa lämpötilassa. Jätevesilietteen lämpöarvo riippuu lietteen kuiva-ainepitoisuudesta ja orgaanisen aineen määrästä lietteessä. Suoraan prosessista poistetun, sakeutetun lietteen lämpöarvo on olematon – valtaosa lietteestä on vettä ja palavan orgaanisen aineksen osuus vähäinen. Mitä suurempi lietteen kuiva-ainepitoisuus on, sitä korkeampi on lietteen lämpöarvo.

Lietteen energiasisältö orgaanista kuiva-ainekiloa kohden on 20–22 MJ/kg. Orgaanisen aineen osuus lietteen kuiva-aineesta riippuu lietteenkäsittelyn vaiheesta eli orgaanisen aineen hajoamisasteesta. Esim. mädätetyn lietteen orgaanisesta aineesta noin puolet on hajonnut mädätyksen yhteydessä, jonka seurauksena mädätteen polttoarvo on jätevesilietettä selvästi alhaisempi ja mädätteen sisältämän kuiva-aineen tuhkapitoisuus korkea, lähes 50 %.

Eri lähteissä jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuudet ja polttoarvot vaihtelevat. Termisesti kuivatun jätevesilietteen lämpöarvo on n. 90 % kuiva-ainepitoisuudessa n. 10–15 MJ/kg

(Myllymaa *et al.* 2008a). Lohiniva *et al.* (2001) ovat koonneet neljästä eri lähteestä lietteen teholliseksi eli alemmaksi lämpöarvoksi seuraavia tietoja: alempi lämpöarvo keskimäärin 10–12 MJ/kg (kuiva-ainepitoisuus 3–20 %) tai 13,7 MJ/kg (kuiva-ainepitoisuus 20 %) ja saapumistilassa 1–2 MJ/kg (Viitasaari *et al.* 1994, Lilja *et al.* 1998, Rantala *et al.* 1998, Alin & Salokoski 2000). Helsingin Veden mädätetyn ja linkokuivatun lietteen alempi lämpöarvo on 1,3 MJ/kg (kuiva-ainepitoisuus n. 30 %) (M. Heinonen 17.3.2009). Joensuun Veden termisesti kuivatun lietteen polttoarvosta tiedetään, että se vastaa turpeen polttoarvoa (L. Lavikainen 7.4.2009). Jyrsinturpeen polttoarvo on 10,1 MJ/kg (Tilastokeskus: Polttoaineluokitus 2006).

Kun tunnetaan lietteen tarkka koostumus, lietteen tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa on mahdollista laskea seuraavasti:

$$H_{u(kostea)} = 34,8 \text{ MJ/kg} \cdot mC + 93,8 \text{ MJ/kg} \cdot mH + 10,5 \text{ MJ/kg} \cdot mS + 6,3 \text{ MJ/kg} \cdot mN - 10,8 \text{ MJ/kg} \cdot mO - 125^\circ\text{C} \cdot mH_2O, \quad (4)$$

missä

$H_{u(kostea)}$ = kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo

mC = hiilen massaosuus polttoaineessa (kg/kg polttoainetta, vastaavasti muut polttoainekomponentit)

125 = veden höyrystymislämpö (2443 kJ/kg, kun $t = 25^\circ\text{C}$)

Suomessa puhdistamolietettä polttaa muutama laitos: Ekokem Oy polttaa lietettä Riihimäellä sijaitsevassa jätteenpolttolaitoksessaan ja termisesti kuivattua lietettä rinnakkaispolttetaan Haapavedellä Vapo Oy:n pienvoimalaitoksella ja pellettitehtaalla. Kainuun Voima Oy:n höyryvoimalaitoksella on lupa polttaa yhdyskuntalietepellettejä rinnakkaispoltoissa ja Lapinlahden Ekolämpö Oy:n laitoksella on lupa rinnakkaispolttaa jätevedenpuhdistamon termisesti kuivattua lietettä. Lisäksi Porin Lämpövoima Oy:n Kaanaan laitokselle on tulossa mahdollisuus asumisjätevesilietteen polttoon ja Sipoossa (Kauppahuone Polynova Oy on hakenut ympäristölupaa mädätetyn ja termisesti kuivatun jätevesilietteen polttamiseksi leijukerrostekniikkaan perustuvassa lämpölaitoksessa.) Lämpölaitoksesta syntyvä lämpö on suunniteltu käytettäväksi jätevesilietteen kuivaukseen.

10.4.2 Polttotekniikat

Lietteenpoltto on mahdollista toteuttaa eri tavoin. Lieite voidaan polttaa joko omassa lietteenpolttolaitoksessa, rinnakkaispolttolaitoksessa tai jätteenpolttolaitoksessa. Lietettä on mahdollista polttaa myös hiililaitoksissa, sementtitehtaissa ja teollisuuden polttolaitoksissa. (Haberkern *et al.* 2008). Tällaisen järjestelyn etuna on, että polttolaitokset ja savukaasujen puhdistusjärjestelmät ovat jo olemassa (Rulkens 2008).

Yleensä lieite kuivataan ennen polttoa. Märkääkin lietettä voidaan hävittää polttamalla, mutta lieite ei kuitenkaan tavallisesti voi muodostaa enempää kuin 10 % poltettavasta aineesta (Pöyry 2007). Tyypillisiä lietteenpolton tekniikoita ovat arinapoltto ja leijupetiteknikka. Arinapoltto sopii parhaiten kiinteän jätteen polttoon. Jätevesilietettä voidaan kuitenkin polttaa arinapoltona pieniä määriä muun jätteen seassa. Lieite on myös mahdollista polttaa rumpu-uuneissa, joita käytetään yleisesti ongelmajätteen poltoissa. Yhdyskuntalietteen poltoissa paras mahdollinen tekniikka (BAT) on tällä hetkellä leijupetipoltto. Ympäristön kannalta myös rumpu-uuni on arinapoltoa parempi vaihtoehto. Eri polttotekniikat eroavat mm. sähköntuotannon hyötysuhteiltaan.

Arinapoltossa sähköntuotannon hyötysuhde on alhaisin, 20–25 %, leijupetikattilassa 25–30 % ja kaasutuksessa 30–40 %. (Vesanto 2006).

Leijupetiteknikassa etuna on, että sen avulla melko huonolaatuisellakin polttoaineella on mahdollista päästä hyvään hyötysuhteeseen polton päästöjen jäädessä alhaiseksi. Jos lietteenpoltto tapahtuu alhaisessa lämpötilassa, leijupetiteknikkaa käytettäessä syntyy merkittävässä määrin N_2O -päästöjä. (Ympäristöministeriö 2006). Leijupetikattilassa on mahdollista polttaa esim. rinnakkaispolttona jätevesilietettä ja kierrätyspolttoaineita. Tätä on pidetty suomalaisen toimintaympäristöön sopivana vaihtoehtona. (Vesanto 2006). Leijupetikattilassa voidaan polttaa hyvin märkääkin lietettä, jonka kuiva-ainepitoisuus on vain 10 % (Pöyry 2007). BAT:n mukaista on polton toteuttaminen siten, ettei poltto normaalitoiminnassa edellytä tukiaineen käyttöä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että liete on kuivattava ennen polttoa. Suositeltavaa olisi käyttää kuivaukseen poltosta syntyvää lämpöä. (Vesanto 2006).

10.5 Muut energiantuotantotavat

Uusia, osittain kehitysasteella olevia energiantuotannon menetelmiä ovat lietteen kaasutus ja pyrolyysi (Haberkern *et al.* 2008). Näitä on toistaiseksi kehitetty myös biomassan, mutta ei erityisesti lietteen energiahyödyntämiseen. (Rulkens 2008).

Tulevaisuudessa mahdollisesti lietteen energiahyödyntämiseen soveltuva, kiinnostava menetelmä on ylikriittinen märkähapetus. Märkähapetuksella tarkoitetaan ilman tulta korkeassa paineessa ja lämpötilassa tapahtuvaa hapettumista. Tällöin vesiliuoksessa oleva orgaaninen aine ja osa epäorgaanisesta aineesta hapettuvat. Reaktiossa vapautuu lämpöä ja sen lopputuotteet ovat hiilidioksidi ja vesi. Alikriittinen märkähapetus on kaupallista tekniikkaa. Ylikriittinen märkähapetus tapahtuu veden ylikriittisen pisteen (374,2 °C; 22,1 MPa) yläpuolella ja siinä orgaaninen aine, myös myrkylliset orgaaniset yhdisteet, hapettuu täysin ja tyypiyhdisteiden tyyppi muuttuu typpikaasuksi. Prosessissa vaadittava viipymä on muutamista sekunneista minuuttiin. Prosessista voidaan ottaa talteen lämpöä talteen lämmönvaihtimen avulla. Menetelmän etuna on, että syntyvän kaasun käsittely on yksinkertaista ja siitä syntyvät kustannukset hyvin alhaiset. Lietettä ei myöskään tarvitse kuivata ennen käsittelyä. Menetelmän käytännön sovelluksista ei kuitenkaan ole vielä kokemusta suuressa mittakaavassa. (Rulkens 2008).

Jätevesilietteestä on periaatteessa mahdollista tuottaa mikrobiologisilla menetelmillä metaanin lisäksi myös etanolia, asetonia, butanolia tai vetyä. Näiden tuottaminen edellyttäisi kuitenkin monimutkaista tuotantoprosessia. Vaihtoehtojen kiinnostavuutta vähentää myös se, että metaanin tuottamisesta on huomattavasti enemmän kokemusta. (Rulkens 2008).

Biopolttokenno on kiinnostava tekniikka, jonka avulla tulevaisuudessa voidaan ehkä puhdistaa jätevettä ja samalla tuottaa siitä energiaa. Biopolttokennon avulla on mahdollista tuottaa orgaanisesta aineesta suoraan sähköenergiaa. Biopolttokennon toiminta perustuu bakteerien kykyyn hajottaa orgaanista ainesta elektroneiksi, jolloin saadaan anodin ja katodin välille syntymään tasavirta. Bakteerien ravinnoksi käy esim. jäteveden sisältämä orgaaninen aine ja tutkimuksissa mikrobien ravinnoksi on kelvannut sekä jätevesi että mädättämön rejektivesi. (Davis & Higson 2007).

Biopolttokennoja on erityyppisiä. Niissä joko

- 1) hyödynnetään kenoja toissijaisen polttoaineen kuten vedyn tuottamisessa ensisijaisesta polttoaineesta kuten orgaanisesta jätteestä. Toissijainen polttoaine toimii tämän jälkeen polttoaineena tavanomaisessa polttokennossa
- 2) kennot tuottavat sähköä suoraan orgaanisesta aineesta perustuen joko entsyymien tai kokonaisten mikrobien toimintaan tai
- 3) kennot tuottavat sähköä auringonvalosta. (Davis & Higson 2007).

Jätevedenpuhdistukseen kehitettävä biopolttokenno edustaa tyyppiä 2. Käsittelyssä hajoo orgaanista ainetta ja syntyy sähköä. Biopolttokennon avulla on siis mahdollista sekä puhdistaa jätevettä että tuottaa energiaa – jäteveden orgaanisesta aineesta on kyetty menetelmällä hajottamaan jopa 80 %. (Davis & Higson 2007).

Biopolttokenno on vasta kehitteillä olevaa tekniikkaa eikä laajan mittakaavan sovelluksia ole lähiaikoina odotettavissa. Suurin osa tutkimuksesta tapahtuu yhä laboratoriotasolla. Tulevaisuudessa tekniikkaa voitaneen kuitenkin hyödyntää niin vedenpuhdistuksessa kuin energiantuotannossakin.

ORC-prosessi on mahdollinen menetelmä sähköntuotantoon toisen sähköntuotantoon käytettävän laitteen ylijäämälämmöstä. ORC tulee sanoista organic Rankine cycle ja se viittaa Rankine -prosessiin, jossa kuitenkin työaineena on jokin orgaaninen aine, ei siis vesi tai savukaasu. Mahdollisia työaineita ovat erilaiset hiilivedyt kuten isopentaani, iso-oktaani, tolueeni ja silikoniöljy ja kylmäaineet. ORC-prosessi toimii savukaasuista lämmönvaihtimen avulla prosessiin siirretyllä lämmöllä. Sen sähköntuotannon hyötysuhde jää alhaiseksi, n. 10–20 %:iin, mutta koska kyseessä on sähkön tuottaminen savukaasuista, on menetelmästä etua, sillä sähköntuotannon kokonaishyötysuhdetta saadaan näin nostettua 5–10 %. Tekniikalle voisi olla käyttöä suurilla laitoksilla, joilla osa muiden menetelmien mukana syntyvästä lämmöstä jää käyttämättä esim. kesäisin. Menetelmän avulla on mahdollista ottaa lämpöä talteen matalista lämpötiloista ja muuttaa lämpöä työksi tai sähköksi. (Haber Kern *et al.* 2008).

Vesiturbiinin käyttö on teoriassa yksi mahdollinen tapa tuottaa sähköä verkostossa olevien korkeuserojen avulla. Suomessa ei kuitenkaan tyypillisesti liene verkostossa niin suuria korkeuseroja, että sähköntuotanto olisi kannattavaa. Poikkeuksen muodostaa Päijänne-tunneli, jossa on yksi 1 MW:n vesiturbiini (S. Autere 4.2.2009). Lisäksi Turun Seudun Veden tekopohjavesihankkeeseen liittyen on yhdelle talousveden siirtolinjoista suunniteltu tulevaksi 346 kW:n vesiturbiini (Turun Seudun Vesi 2009).

10.6 Lietteenkäsittelyn ympäristövaikutukset

10.6.1 Lietteenkäsittelyyn liittyvät yleiset ympäristönäkökohdat

Lietteenpolton ympäristökysymykset liittyvät savukaasujen mahdollisiin päästöihin ja poltossa syntyvän tuhkan turvallisuuteen. Poltossa höyrystyy suurin osa lietteen mahdollisesti sisältämästä elohopeasta, merkittävä osa arseenista ja pieni osa kadmiumista, sekä vähäinen määrä muita raskasmetalleja. Orgaaniset myrkyt sen sijaan tuhoutuvat poltossa, koska ne hapettuvat muun orgaanisen aineen mukana. Savukaasujen puhdistukseen on olemassa tehokkaita menetelmiä, jotka ovat yleisesti käytössä jätteenpolttolaitoksilla, joskin savukaasujen puhdistus on kallista. (Rulkens 2008).

Osa poltettavan lietteen sisältämistä raskasmetalleista sitoutuu tuhkaan. Vaikka pääosa tuhkaan sitoutuneista raskasmetalleista on stabiileja, joidenkin metallien liukoisuudet voivat ylittää hyötykäytössä tai kaatopaikoilla hyväksyttävät tasot. Tuhkien oikea käsittely ja sijoittaminen jäävätkin huolehdittavaksi lietteenpolton jälkeen. Lietteenpolton pohjatuhkaa on hyödynnetty maailmalla esim. sementtiteollisuudessa (Lana *et al.* 2008). Käytännössä Suomessa lietteenpoltosta syntyvä tuhka päättyy yleensä kaatopaikalle tai jos liete on poltettu yhdyskuntajätteen seassa, myös ongelmajätekaatopaikalle. Lietteiden erillispoltonkin pohja- ja lentotuhka voivat olla ongelmajätettä. Suomessa ei ole jätteenpolton tuhkien ja kuonien hyödyntämistä koskevaa säännöstöä ja hyödyntämisen kohtalo ratkaistaan siksi aina tapauskohtaisesti ympäristöluvassa. Muille, esim. kivihiilen polton tuhkien käytölle on jo olemassa kriteerit. Jätteenpolton tuhkien ja kuonien hyötykäyttömahdollisuuksia tutkii Suomessa ainakin VTT. (T. Kaartinen 12.3.2009).

Mädätyksen etu lietteenpolttoon nähden on, että siitä syntyy hyötykäyttöön kelpaava lopputuote ja samalla energiahyödyntämiseen kelpaavaa biokaasua. Hyötykäytön toteutuminen voi käytännössä joillain alueilla olla ongelma – lopputuotteelle ei kaikkialla ole kysyntää. Mädätyksessä ei kuitenkaan synny suoraan kaatopaikalle tai ongelmajätekaatopaikoille sijoitettavia lopputuotteita. Kuten lietteenpoltossa, mädätyksessäkin lietteen käsittelyketju edellyttää energiaa kuluttavaa lietteen tiivistämistä ja kuivausta.

10.6.2 Lietteenkäsittelyn ilmastovaikutukset

POLKU -hankkeessa (Myllymaa *et al.* 2008b) vertailtiin jätevesilietteen hyödyntämisen eri käsittelyketjuja ja niiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Vertailussa huomioitiin suoran energiankäytön ja -tuoton lisäksi muita ympäristövaikutuksia kuten fosforilannoitteen tuotannon ja turpeenoton välttämisestä syntyvät päästöhyvitykset. Tarkastelu oli siis tässä työssä käytettyä tarkastelua laajempi. Vertailu on tehty perustuen alueelliseen tarkasteluun, joten käsittelyvaihtoehtojen reunaehdot poikkeavat toisistaan.

Kasvihuonekaasupäästöjen kannalta edullisimmaksi vaihtoehdoksi todettiin tutkimuksessa jätevesilietteen terminen kuivaus ja arinapoltto silloin, kun poltosta tuotetulla lämmöllä korvataan öljyn (56 %), puun (32 %) ja maakaasun polttoa ja sähköntuotannolla kivihiililauhesähköä. Terminen kuivaus yhdistettynä arinapolttoon oli esitetyillä reunaehdoilla tutkituista käsittelyvaihtoehdoista kallein. Termisesti kuivatun jätevesilietteen polton käsittelyketjusta koituvat kasvihuonekaasupäästöt ovat tutkimuksen mukaan huomattavasti suuremmat kuin jätevesilietteen mädätyksessä, lähinnä lietteen prosessoinnin eli kuivauksen päästöistä johtuen. Käytetyssä tarkastelussa kuitenkin myös hyvitykset muodostuvat selvästi mädätystä suuremmiksi. Tämä johtuu siitä, että vertailuvaihtoehdoissa arinapoltossa tuotetun sähköön on katsottu korvaavan kivihiililauhdetta (eli marginaalisähköä), kun taas tämän työn tarkasteluissa tuotetun sähköön on ajateltu korvaavan keskimääräistä sähköä. Kivihiililauhteen korvaamisesta syntyvät päästöhyvitykset muodostavat POLKU -hankkeen tarkastelussa 78 % kaikista termisen kuivauksen ja arinapolton päästöhyvityksistä. Polton ja mädätyksen energiankulutuksesta syntyvät päästöt arvioitiin hyvin samansuuruisiksi. Toisin kuin tässä diplomityössä, vaihtoehdoissa ei tutkittu biokaasun hyödyntämistä sähköntuotannossa, vaan mädätysvaihtoehdoissa, joita oli kaksi, termofiilisellä mädätyksellä tuotettu biokaasu käytettiin joko korvaamaan öljyn tai turpeen poltolla tuotettua lämpöä.

Saksalaisessa jätevedenpuhdistamoiden energiatehokkuutta koskevassa selvityksessä esitetään, että lietteenkuivaus kannattaisi aina tehdä polttolaitoksen tai teollisuuden hukkalämmöllä huolimatta tästä mahdollisesti koituvista kuljetuksista. Silloin, kun liete poltetaan, kasviuonekaasupäästöjen kannalta edullisinta olisi kuivata liete paikan päällä esim. teollisuudesta saatavalla ylijäämälämmöllä ja polttaa liete laitoksen yhteydessä olevassa polttolaitoksessa. Jos tämä ei ole mahdollista, esikuivattu liete kannattaa kuljettaa jopa 550 km:n päähän polttolaitokselle ja kuivata siellä polton vaatimaan kuiva-ainepitoisuuteen. Liete kannattaa jopa mieluummin polttaa vain esikuivattuna kuin ensin kuivata korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen ja sitten kuljettaa polttoon. (Haberker *et al.* 2008).

Eri käsittelyvaihtoehtojen vaikutus riippuu selvästi paljon siitä, missä päin Suomea jätevesilietteen käsittely tapahtuu ja mitkä lietteen energiantuottamisen tekniikat ovat käytettävissä. Eri vaihtoehtoja harkittaessa tulisikin selvittää, mitkä ovat korvattavan energiantuotannon päästöt.

11 KÄYTÄNNÖN TOIMET PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI

11.1 Energiatehokkuuden parantamisen välineet

Energiatehokkuuden parantamisessa liikkeelle paneva voima voi olla joko vesihuoltolaitos tai jokin sen ulkopuolinen taho. Kuntaliitto on 1990-luvulta patistanut kuntia energiatehokkuussopimusten tekemiseen tai liittymään kuntien energiaohjelmaan. Näin ollen joissakin kunnissa energiansäästöön on kiinnitetty huomiota jo pitkään ja se on näkynyt myös vesihuoltolaitosten toiminnassa. Myös valtion taholta tuleva ohjaus on mahdollista – esim. Tanskassa lämmitykseen käytettävän sähkön hinta on korkeampi kuin muun sähkön. Tämänkaltaisen säätely voisi saada myös vesihuoltolaitokset pohtimaan sähkönsä ja lämpönsä lähteitä nykyistä tehokkaammin.

Yksi keino energiankulutuksen hahmottamiseksi on vertailuanalyysi (benchmarking), jossa tiettyjä energiankulutusta hyvin kuvaavia tunnuslukuja verrataan toisiinsa. Vertailulukuja voidaan muodostaa kokonaisenergiankulutusta tai eri yksikköprosesseja koskien ja niitä voidaan suhteuttaa esim. käsiteltyyn vesimäärään ja liittyjämääriin. Saksassa on laitosten eri toiminnoille luotu tavoitearvoja, joihin laitokset voivat verrata omia energiatietojaan. Lisäksi toiminnassa on mallilaitos, jonka toimintaa pyritään kehittämään mahdollisimman energiatehokkaaksi ja jonka energiatietoja käytetään energiankulutuksen tavoitearvojen luomiseen. Jätevedenpuhdistamoiden vertailu tehdään Saksassa viidessä eri kokoluokassa ja kultakin kokoluokkaa koskevat omat tavoitearvot. Vertailuanalyysi voidaan kuitenkin tehdä myös aivan tavallisten laitosten tietoja käyttämällä.

Suomessa on useita eri tahoja, jotka tekevät vesihuoltolaitoksille energiakartoituksia ja auttavat löytämään mahdollisia tehostamiskohteita. Energiankäyttöön voidaan kiinnittää huomiota ja tehdä esim. yksityiskohtainen energia-analyysi silloin, kun laitteistoa uusitaan, laitosta laajennetaan tai muutetaan tai aiotaan aloittaa biokaasun tuotanto. Energia-analyysi kannattaa tehdä myös silloin, kun tiedetään, että laitoksen toiminnasta löytyy energiansäästöpotentiaalia (Kjellén & Andersson 2002).

Laitosten energiankäyttö on monen eri tekijän summa ja energiatehostaminen riippuu kaikista työntekijöistä. Kun halutaan ottaa käyttöön energiansäästöön vaikuttavia toimia, täytyy laitoksen työntekijät saada vakuuttuneiksi muutoksen tarpeellisuudesta ja tietoiseksi omasta merkityksestään muutoksen tekemisessä ja niistä toimintatavoista, joilla energiankulutukseen voidaan vaikuttaa. Alentunut energiankulutus ei aina tarkoita suuria taloudellisia säästöjä, sillä toimenpiteet edellyttävät investointeja, joihin lisäksi saattaa sisältyä riskejä (Thöle *et al.* 2008). Tästä huolimatta muutosten tekeminen on usein taloudellisesti kannattavaa sen lisäksi, että niillä on mahdollista vähentää päästöjä.

11.2 Eri maiden energiatehokkuusprojekteja

Monissa maissa on jo aloitettu toimia vesihuoltolaitosten energiatehokkuuden parantamiseksi. Energiansäästökohteita on näissä projekteissa arvioitu olevan paljon. Ruotsissa tehdyn selvityksen mukaan Ruotsin veden- ja jätevedenpuhdistustoiminnan yhteenlaskettu sähkönkulutus on noin 1350 GWh (Lingsten & Lundkvist 2008). Energiatehokkuutta on tarkoitus parantaa etenkin biokaasun ja jäteveden hukkalämmön hyödyntämisen lisäämisellä, mutta myös sähkönkulutuksen uskotaan olevan vähennettävissä. Sähkönsäästöpotentiaalın suuruudeksi on Ruotsissa arvioitu olevan

125 GWh:n eli n. 9 %:n ja hukkalämmön talteenoton lisäyspotentiaaliksi 0,5–1,5 TWh. Myös biokaasun tuotannon määrää lisätään. (Svenskt Vatten 2007 & 2008). Ruotsin vesi- ja viemärlaitostoiminta on vuonna 2008 saanut 25,5 miljoonan kruunun avustuksen energiaviranomainen STEM:iltä energiatehokkuuden parantamiseksi (Svenskt Vatten 2008).

Tanskassa vesihuoltoalan etujärjestö DANVA on tehnyt sopimuksen, että vesihuoltosektorin sähkönkulutusta vähennetään tulevien viiden vuoden aikana 25 % eli 200 GWh nykyiseen 800 GWh:iin verrattuna. Sopimus on tehty Tanskan ympäristö- ja energiaministeriön alaisuudessa riippumattomana toimivan Elsparefondenin kanssa, jonka tehtävänä on aikaansaada energiansäästöjä kotitalouksissa ja julkisella sektorilla. Vesihuoltosektorilla tavoiteltujen vähennysten määrä vastaa yli 0,5 %:a Tanskan kaikesta sähkönkulutuksesta. DANVA ja Elsparefonden ovat tutkimuksissaan päätyneet siihen, että vähintään tämän suuruiseen säästöön on mahdollista päästä. Erityisesti pumppauksen ja ilmastuksen sähkönkulutuksesta on katsottu voitavan säästää paljon. Lisäksi verkoston toimintaa aiotaan tehostaa ja investoida mm. parempiin moottoreihin. Myös prosessinohjauksen optimoinnilla, esim. ilmastuksen, sekoituksen ja ilmastoinnin optimoinnilla on katsottu saavutettavan sähkönkulutuksen säästöjä.

Energiansäästöprojektiin liittyen Tanskassa on avattu internet-sivusto, joka palvelee projektissa mukana olevia tahoja; laitosten henkilökuntaa, yhteistyökumppaneita ja kuntien päättäjiä. Sivuilla annetaan neuvoja energian säästämiseksi vesihuollon eri toiminnoista, jaetaan käytännön kokemuksia onnistuneista energiansäästötoimenpiteistä ja esitetään uusia ideoita. Varsinainen energiansäästöprojekti käynnistettiin vuonna 2008 workshopilla, johon oli ennakkotietona kerrottu 25 %:n sähkösäästömahdollisuudesta vesihuoltosektorilla. Lisäksi tarjolla on neuvontaa ja esitteitä aiheesta. (DANVA 2008).

Norjassa vesihuoltosektorin energiankulutuksen vähentäminen on otettu tavoitteeksi vuonna 2007. Norjassa projekti on aloitettu 11 kunnan yhteistyönä ja rahoitus on tullut Norjan öljy- ja energiaministeriön omistamalta valtionyhtiö Enova SF:ltä, osallistumismaksuista ja Norjan vesihuoltosektorin etujärjestö NORVAR:lta. Norjassa on laskettu, että vesihuollon nykyistä, karkeasti arvioituna 800 GWh:n vuotuista energiankäyttöä voitaisiin vähentää 400 GWh:iin. (Arvio on 300–450 GWh.) Tämä tapahtuisi sekä energiansäästöä parantamalla että omaa energiantuotantoa lisäämällä. Energiansäästön mahdolliseksi osuudeksi on arvioitu 60 GWh ja siten suurin osa ulkopuolisen energian käytön vähentämisestä syntyisi omien energianlähteiden nykyistä huomattavasti paremmasta hyödyntämisestä; biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen lisäämisestä ja lämpöpumppujen käyttöönotosta. Vesihuoltosektorin päästöjä on arvioitu olevan mahdollista vähentää 160 000 t CO₂-ekv. verran ja valtaosa tästä syntyisi biokaasun tuottamisen ja hyödyntämisen lisäämisestä. (NORVAR 2008).

12 TUTKIMUSAINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

12.1 Tavoite ja rajaukset

Tutkimusosion tavoitteena oli hahmottaa Suomen vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöjen suuruusluokka ja päästöjen vähennyspotentiaali. Päästöjä laskettaessa on arvioitu fossiilisen hiilidioksidin, metaanin ja dityppioksidin määrät. Aineistoa koottaessa saatiin samalla paljon tietoa myös energiankäytön määristä laitoksilla ja verkostoissa. Energiankäytön päästöjä arvioitaessa huomioitiin sekä laitoksilla ja verkostoissa käytetty että laitosten itse tuottama sähkö ja lämpö. Lisäksi on arvioitu lietteen kuljetusten polttoaineenkulutuksesta ja kompostoinnin energiankulutuksesta seuraavat päästöt.

Haihduntapäästöjen määrää arvioitaessa on tarkasteltu jätevedenpuhdistusprosessin, puhdistetun jäteveden purkamisen, biokaasutuksen, mädätteen varastoinnin, kompostoinnin ja jätevesilietteen kaatopaikkasijoituksen metaani- ja dityppioksidipäästöjä. Lietteenpolton päästöjä (esim. mahdollista dityppioksidia) ei ole huomioitu lietteenpolton vähäisyyden takia. Mitään laajempaa elinkaaritarkastelua edellyttäviä tekijöitä kuten laitteiden ja kemikaalien valmistuksesta seuraavia kasvihuonekaasupäästöjä ei ole huomioitu.

12.2 Menetelmät

12.2.1 Kysely

Suomalaisten vesihuoltolaitosten toiminnasta syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen suuruutta arvioitiin vesihuoltolaitoksille lähetetyn kyselyn avulla. Kyselyssä selvitettiin käytetyn ja tuotetun sähkön ja lämmön määriä ja eri toimintojen merkittävyyttä energiankäytön kannalta. Lisäksi pyrittiin selvittämään mahdollista energiankäytön säästöpotentiaalia ja syitä erisuuruisiin energiankäytön määriin.

Energiankäyttöä selvittävä kysely lähetettiin yhteensä 14 vesihuoltolaitokselle, joista vastauksia saatiin 11:ltä. Laitoksille lähetettiin sähköpostitse linkit kyselyyn, jonka neljä eri osiota koski vesilaitoksia, vesijohtoverkkoa, jätevedenpuhdistamoita ja viemäriverkkoa. Kyselyn kysymykset ovat nähtävissä liitteistä sivulta 140 lähtien. Vastauksissa pyydettiin ilmoittamaan vuotta 2007 koskevat tiedot. Vastauksista on esitetty kooste liitteissä sivuilla 122–139.

12.2.2 Laskennan toteuttaminen

Tässä tutkimuksessa yli 10 miljoonaa m³ vettä tai jätevettä käsittelevien laitoksien tiedot on yleistetty koskemaan vastaavan kokoisia laitoksia Suomessa. Pienemmiltä vesihuoltolaitoksilta saadut tiedot on yleistetty vastaavasti koskemaan muita vesihuoltolaitoksia. Laitosten käyttämän energian määrät on laskettu yhteen ja jaettu yhteenlasketulla laitosten vesimäärällä. Tätä lukua on käytetty kuutiokohtaisen energiankulutuksen arviona luokan sisällä (kWh/m³) kun tietoja on yleistetty koskemaan koko maata. Vesilaitosten ja vesijohtoverkoston energiatiedot on yleistetty yhdessä, mutta jätevedenpuhdistamoiden ja viemäriverkoston kohdalla yleistys on tehty erikseen johtuen siitä, että puhdistamoille tulevan jäteveden määrä poikkeaa viemäriverkostossa kulkevan jäteveden kokonaismäärästä. Vesihuoltolaitosten oman sähkön- ja lämmöntuotannon määrien arvioinnissa käytettiin vuoden 2006 Biokaasulaitosrekisterin tietoja.

Energiankäytön suuruusluokkaa arvioitaessa käytettiin myös saatavilla olleita vertailutietoja. Vertailutietoina toimivat neljältä alueelliselta ympäristökeskukselta saadut jätevedenpuhdistamoiden sähkönkäyttötiedot ja Tilastokeskuksen arvio vesilaitosten sähkönkäytöstä.

Kun arvioidaan päästöjen suuruutta koko Suomen tasolla, voidaan tutkimuksen otosta pitää riittävänä. Sen sijaan ominaissähkönkulutuksia ja energiankulutuksen jakautumista lämmön- ja sähkönkulutukseen yms. arvioitaessa on huomioitava, että tulokset perustuvat yhteensä 11 laitokselta kerättyihin tietoihin. Vaikka mukaan on pyritty valitsemaan tasaisesti laitoksia eri kokoluokista, on likimain samankokoisia laitoksia kuitenkin mukana vain 3 tai 4, jolloin kovin pitkälle vietyjä päätelmiä ei em. tiedoista voi tehdä. Tulokset ovat suuntaa antavia ja niiden pohjalta pystyttiin tekemään työn tavoitteiden mukaisesti karkea arvio vesihuoltolaitosten toiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä Suomessa.

12.2.3 Sähkön- ja lämmöntuotannon päästökertoimet

Työssä on käytetty Suomen sähkön- ja lämmöntuotannon keskimääräisiä päästökertoimia sekä päästöjen kokoluokkaa että päästövähennyspotentiaalia arvioitaessa. Sähkön- ja lämmöntuotannolle on laskettu päästökertoimet vuoden 2007 Energiatilastojen sähkön- ja lämmöntuotantotiedoista, joissa sähkön ja lämmön yhteistuotannon päästöt on jaettu sähkön ja lämmön välille hyödynjakomenetelmää käyttäen. Hyödynjakomenetelmässä kaukolämmön kerroin on sähköntuotannon kerrointa alhaisempi, mikä antaa oikeamman käsityksen sähkön- ja lämmönkäytön vähentämisen vaikutuksesta päästöihin kuin jos jako olisi tehty toisella käytössä olevalla laskentatavalla, energiamenetelmällä. Laskennassa käytetyissä kertoimissa on huomioitu myös siirtohäviöt, sähköntuotannon osalta n. 3 % ja lämmöntuotannon osalta n. 9 % tuotetusta energiasta (Energiatieteellisyys 2009). Päästökertoimiksi on siten saatu sähkölle 250 g CO₂/kWh ja kaukolämmölle 240 g CO₂/kWh. Kertoimissa ei ole huomioitu muita poltossa syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä kuin hiilidioksidi. Muiden muodostuvien kasvihuonekaasujen määrä on kuitenkin niin vähäinen, että käytännössä kyseiset kertoimet vastaavat CO₂-ekv -kertoimia.

Päästökertoimien määrittelyyn käytetty laskutapa on yksi useista mahdollisista vaihtoehdoista. Sähkönkäytön vähentämisestä seuraavaa päästöjen vähenemistä olisi mahdollista arvioida myös esim. marginaalisähkön kertoimilla. Tämä on perusteltua sikäli, että ainakin lyhyellä tähtäimellä sähkönkäytön väheneminen vähentää kaikkein eniten kasvihuonekaasupäästöjä tuottavien sähköntuotantomenetelmien kuten kivihiihilauhevoiman käyttöä. Pitkän aikavälin tarkastelussa aiempaa vähemmän käytettävän sähköntuotantotavan määrittäminen ja siten marginaalisähkön kerrointen käyttäminen päästövähennyksiä laskettaessa ei kuitenkaan ole yksiselitteistä.

Marginaalitarkastelua käytettäessä sähkönkäytön vähennyksistä seuraava päästövähennys on huomattavasti suurempi kuin tässä työssä käytetyillä kertoimilla, sillä marginaalisähkön tuotannon päästökerroin on Suomessa 300–700 g CO₂/kWh (Soimakallio *et al.* 2009). Voidaan kuitenkin todeta, että esim. lämmityssähkön käytön vähentämisen vaikutus on myös pitkän aikavälin tarkastelussa suurempi kuin sähkönkäytön vähentämisen vaikutus keskimäärin. Tampereen teknillisessä yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa lämmityssähkön päästökertoimeksi on arvioitu n. 300–400 g CO₂/kWh (Heljo & Laine 2005).

Työssä on käytetty kaukolämmön tuotannon kerrointa kuvaamaan laitoksilla erikseen tuotetun lämmön päästöjä. Suomen jätevedenpuhdistamoilla ei suinkaan kaikilla ole käytössä kaukolämpöä silloin, kun lämmitystapa on jokin muu kuin sähkölämmitys. Luotettavia tietoja vesihuoltolaitosten lämmityksessä käytettävien polttoaineiden määristä ei kuitenkaan löytynyt. Keskimääräinen kaukolämmön päästökerroin on alempi kuin lämmitykseen käytettävän kevyen polttoöljyn (296 g CO₂/kWh, kun lämmöntuotannon hyötysuhde 90 %) ja toisaalta korkeampi kuin maakaasun (220 g CO₂/kWh, kun lämmöntuotannon hyötysuhde 90 %). Työssä käytetty lämmön päästökerroin antaa käsityksen päästöjen kokoluokasta. Lisäksi kaukolämmönkin tuotannon polttoaineet vaihtelevat paikallisesti. Motiva (2004) on arvioinut, että kaukolämmön tuotannon päästökertoimet vaihtelevat paikkakunnasta riippuen välillä 20–500 g/kWh.

Yksittäisten vesihuoltolaitosten energiankäyttöä tehostettaessa on syytä selvittää, mitä vaikutuksia oman lämmönkäytön vähentämisellä ja oman lämmöntuotannon lisäämisellä tosiasiallisesti on. Vaikutukset riippuvat täysin siitä, millä tavoin tuotettua energiaa korvataan. Jos esim. vesihuoltolaitoksen ostama kaukolämpö tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, voi laajamittaisesta lämmönkäytön vähennyksestä seurata, että yhteistuotannossa syntyvälle lämmölle ei ole kattavaa käyttöä ja sähköä vain tuotetaan muutoksen jälkeen aiempaa alhaisemmalla kokonaishyötysuhteella.

12.3 Kyselyyn vastanneet laitokset

12.3.1 Yleistä

Tutkimukseen pyrittiin saamaan mukaan erikokoisia laitoksia. Mukana olleiden pienten vesihuoltolaitosten valmistaman talousveden tai käsittelemän jäteveden määrä oli alle miljoona m³/a, keskisuurten yli miljoona m³/a mutta alle 10 miljoonaa m³/a. Suurten laitosten vesimäärät olivat yli 10 miljoonaa m³/a. Tutkittujen vesilaitosten yhteenlaskettu vesimäärä muodostaa n. 24 % kaikesta Suomessa käytettävästä talousvedestä ja jätevedenpuhdistamoiden jätevesimäärä vastaavasti n. 34 % kaikesta Suomen jätevedestä.

Yli 10 miljoonaa m³/a jätevettä puhdistavat jätevedenpuhdistamot käsittelevät Suomessa yhteensä n. 44 % yhdyskuntajätevedestä eli n. 217 miljoonaa m³/a (Siekinen 2008). Suurten jätevedenpuhdistamoiden jätevesistä (käsitelty jätevesimäärä yli 10 miljoonaa m³/a) n. 65 % käsiteltiin tähän tutkimukseen liittyneeseen kyselyyn vastanneissa laitoksissa. Tätä pienempien laitosten jätevesistä, yhteensä n. 281 miljoonaa m³/a, n. 10 % käsiteltiin kyselyyn vastanneissa laitoksissa.

Vastaavasti yli 10 miljoonaa m³/a talousvettä valmistavat vesilaitokset tuottivat vuonna 2006 n. 42 % kaikesta Suomen vesijohtoverkostoihin pumpattavasta talousvedestä eli n. 205 miljoonaa m³/a (Siekinen 2008). Tästä vesimäärästä n. 51 % valmistettiin kyselyyn vastanneissa laitoksissa. Alle 10 miljoonaa m³/a talousvettä valmistavat vesilaitokset tuottivat vuonna 2006 talousvettä 278 miljoonaa m³/a. Tähän lukuun verrattuna kyselyyn vastanneet laitokset tuottivat n. 5 % tämän kokoluokan vesistä. Vertailu ei ole täysin pätevä, sillä esim. vuonna 2005 talousvettä tuotettiin 5 % vähemmän kuin vuonna 2006. Vuodelta 2007 ei kuitenkaan ollut luotettavaa tietoa käytettävissä.

12.3.2 Laitoskohtaiset tiedot

Kyselyyn saatiin vastauksia yhteensä kymmeneltä vesilaitokselta ja yhdeltätoista jätevedenpuhdistamolta. Vesihuoltolaitokset on taulukoissa 10 ja 11 numeroitu käsiteltävien vesimäärien perusteella pienimmästä suurimpaan. Talousvettä valmistavia laitoksia koskevat tiedot on esitetty alla taulukossa 10.

Taulukko 10. Tutkittujen vesilaitosten tiedot. Po = pohjavesi, pi = pintavesi, tpo = tekopohjavesi.

Laitoksen nro	Vesimäärä 1000 m ³ /a	Raakavesi	Verkostopituus km
1	105	po	17
2	164	po	38
3	732	po	137
4	1 373	pi	782
5	2 721	po	216
7	3 300	tpo	366
8	4 689	po	815
9	10 058	pi	674
10	13 566	pi	747
11	81 360	pi	1 175

Taulukossa 10 ilmoitettu vesimäärä tarkoittaa vesilaitoksilta verkostoon toimitetun veden määrää, raakavesi pääasiallista raakavesilähdettä. Tiedot ovat vuodelta 2007.

Vesilaitosten antamat vastaukset voivat sisältää kootusti useamman saman yhtiön vedenottamon tai vedenkäsittelylaitoksen tiedot. Vastanneista vesilaitoksista kolme on pieniä, neljä keskisuuria ja kolme suuria. Suurilla laitoksilla raakavesi oli lähes yksinomaan pintavettä, pienillä yksinomaan pohjavettä. Laitoksella nro 7 pohjavettä kaikesta raakavedestä oli 40 % ja loput tekopohjavettä. Laitoksella 8 pohjavettä raakavedestä oli 70 % ja loput tekopohjavettä. Taulukosta 10 ilmenee, että keskisuurista vesilaitoksista osalla on yhtä pitkä tai pidempi vesijohtoverkosto kuin kaikkein suurimmilla laitoksilla.

Jätevedenpuhdistamoilta saatiin vastauksia 11 vesihuoltolaitokselta. Näiden tiedot on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Tutkittujen jätevedenpuhdistamoiden tiedot.

Laitos nro	Jätevesi- määrä	Kuormitus	Teollisuus- jätevesiä	Kokonais- typpi- reduktio	Verkosto pituus	Mädätys	Lietteen kuiva- aine- pitoisuus
	1000 m ³ /a	AVL	%	%	km		%
1	148	1 600	0		27		20
2	210	3 800		87	29		24
3	1 016	14 000	6	61	130		24
4	2 000	20 000	18	57			15
5	4 839	67 000	50 – 60	72	180	x	26
6	6 700	78 600	5	39	315		17
7	6 833	100 000	40	66	287		22
8	7 200	60 000	35	24	688	x	30
9	14 300	150 000		24	581		22

10	22 815	200 000			664	x	31
11	103 450	800 000	19	89	1 868	x	30

Jätevedenpuhdistamoiden tiedot koskevat kaikki vain yhtä saman yhtiön jätevedenpuhdistamoa. Kaikilla muilla vastanneilla jätevedenpuhdistamoilla lietteenkuivauksessa käytettiin linkoa, paitsi laitoksella 4, jolla kuivaimena oli ruuvipuristin. Taulukon 11 viemäriverkoston pituus tarkoittaa nimenomaan jätevesiverkostoa. Laitokselta 4 ei saatu viemäriverkostoa koskevia tietoja. Kuten taulukosta 11 ilmenee, viemäriverkoston pituus vaihtelee suuresti keski suurten puhdistamoiden luokassa.

12.4 Tiedonkeruun sujuminen

Tiedonkeruuta hidasti ja hankaloitti jonkin verran se, että kysymyksiin vastattiin ns. henkilökohtaisen linkin kautta. Linkki oli lähetetty laitoksilla yhdelle henkilölle, mutta vastaaminen vaati monella laitoksella useiden, eri osa-alueista vastuussa olevien ihmisten osallistumista ja heille piti lähettää omat, vastaamisen mahdollistavat linkit. Laitoksilta ei tilattu uusia linkkejä ja uusien linkkien tarve ilmeni vasta työn tekijän kyselyjen jälkeen.

Jotkut vastauksissa annetuista tiedoista edellyttivät lisäselvittelyä, esim. joidenkin laitosten eri prosessinosien yhteenlaskettu sähkönkulutus ylitti laitoksen kokonaissähkönkulutuksen. Valitettavasti diplomityöntekijälle sattui kyselyntekovaiheessa myös virheoletus verkostovesien määrän suhteen. Kyselyissä ei ollut mukana kysymyksiä verkostoissa kulkevista vesimääristä. Laitoskohtaisissa tiedoissaan vesihuoltolaitokset saattoivat ilmoittaa esim. vain pääpuhdistamonsa vesimäärät, energiatiedot ym. Kun osalla vesihuoltolaitoksista on useita eri vedenottamoita ja jätevedenpuhdistamoita, ei verkostossa kulkeva vesimäärä aina täsmännyt laitoksilla käsiteltyjen vesimäärien kanssa. Nämä tiedot työn tekijä pyrki kuitenkin korjaamaan jälkikäteen.

13 TUTKIMUSTULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI

13.1 Vesihuoltolaitosten energiankäyttö

13.1.1 Energiankäytön määrät

Laitoksilta saatujen sähkön- ja lämmönkäyttötietojen perusteella muodostettiin arvio koko Suomen vesihuoltolaitosten energiankulutuksen suuruudesta. Kaikkiaan vesihuoltolaitosten sähkönkäytön määräksi saatiin n. 500 GWh sähköä ja n. 140 GWh lämpöä. Sähkönkäyttö vastaa n. 0,6 % Suomen vuoden 2007 sähkön loppukäytöstä. Energiankulutusten ekstrapolointiin liittyvä laskenta on esitetty liitteissä sivuilla 119–121. Taulukossa 12 on esitetty vesihuoltolaitosten toiminnan eri osa-alueiden energiankäytön määrät koko maan tasolla sekä kokonaiskulutuksina että laitosten oma energiantuotanto huomioon ottaen.

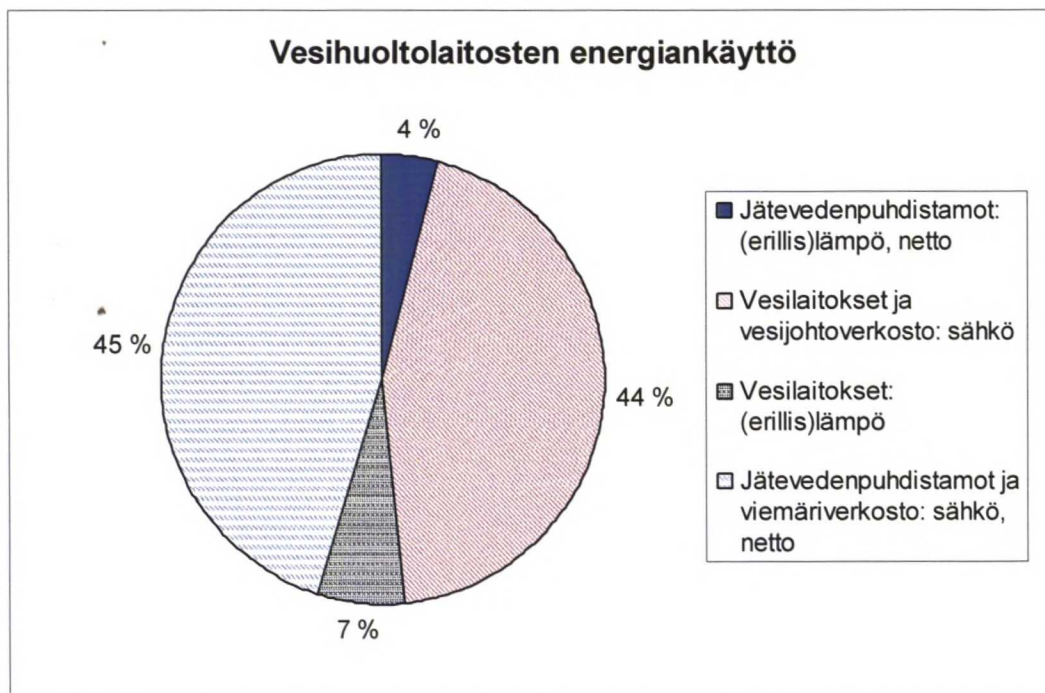
Taulukko 12. Energiankäytön jakautuminen Suomen vesihuoltolaitosten toiminnassa.

	Energiankäyttö	
	brutto	netto
	GWh/a	GWh/a
Jätevedenpuhdistamot ja viemäriverkosto: sähkö	269	241
Jätevedenpuhdistamot: (erillis)lämpö	101	22
Vesilaitokset ja vesijohtoverkosto: sähkö	234	234
Vesilaitokset: (erillis)lämpö	35	35

Taulukosta 12 nähdään, että jätevedenpuhdistus ja viemärointi kuluttavat yhteensä enemmän energiaa kuin vesilaitokset ja vesijohtoverkosto. Erot kuitenkin tasoittuvat, kun jätevesipuolen sähkön- ja lämmönkäytöstä vähennetään jätevedenpuhdistamoilla biokaasusta tuotetun sähkön ja lämmön määrät, jotka vuonna 2006 olivat 28 GWh sähköä ja 79 GWh lämpöä. Vuodelta 2007 tietoja ei ollut käytettävissä.

Taulukossa 12 termi erillislämpö viittaa muuten kuin sähköllä tuotettuun lämpöön. Käytetyn (erillis)lämmön määrät vaihtelivat laitospokohtaisesti huomattavasti, minkä seurauksena lämmönkäytön määrän arviointiin koko maan tasolla liittyy paljon epävarmuustekijöitä.

Kuvassa 24 on esitetty vesihuoltolaitosten energiankäytön jakautuminen nettotarkastelun perusteella.



Kuva 24. Suomen vesihuoltolaitosten energiankäytön muodostuminen nettotarkastelua käytettäessä.

Kuva 24 ei anna tarkkaa kuvaa laitosten todellisesta sähkön- ja lämmöntarpeesta, sillä osa laitosten ja suuri osa verkostojen lämmityksestä tapahtuu sähköllä.

Vesijohtoverkosto oli kyselyssä määritelty siten, että valmistetun veden pumppaaminen laitokselta verkoston alkuun laskettiin vesilaitosten sähkönkäyttöön. Näin määriteltynä vesijohtoverkosto sisälsi osalla laitoksista ehkä vain muutaman paineenkorotusaseman, joiden kautta kulki vähäinen määrä vettä. Tieto verkoston sähkönkulutuksen määrästä saatiin kuitenkin yhdeksältä laitokselta. Näistä vastauksista yleistetty koko maan vesijohtoverkoston sähkönkulutus on 20 GWh/a eli 4 % vesihuoltolaitosten sähkönkäytöstä.

Viemäriverkosto oli kyselyssä määritelty siten, että jäteveden tulopumppaus sisältyi jätevedenpuhdistamon toimintaan. Näin määriteltynä tieto viemäriverkoston sähkönkulutuksesta (kWh/m^3) saatiin kuudelta laitokselta. Kun näiden laitosten tiedot yleistetään koskemaan koko maata (kahdessa kokoluokassa), saadaan viemäriverkoston sähkönkulutukseksi 54 GWh/a. Tämä luku vastaa 20 % jätevedenpuhdistamoiden sähkönkäytöstä ja 11 % vesihuoltolaitosten kaikesta sähkönkäytöstä. Kun laskentaperusteena käytetään näiden kuuden laitoksen viemäriverkostojen sähkönkulutuksen määrää, saadaan mediaaniarvolla (1 696 kWh/km) tulokseksi 76 GWh/a.

13.1.2 Energiatietojen vertailu

Energiankäytön kokonaismäärä on alhainen verrattuna Tanskan (800 GWh), Norjan (800 GWh) ja etenkin Ruotsin (1400 GWh) tekemiin arvioihin maiden vesihuoltolaitosten energiankäytöstä. Toisaalta Tanskassa ja Norjassa on arvioitu olevan mahdollista vähentää energiankäyttöä jopa puoleen nykyisestä, joten on mahdollista,

että Suomen vesihuoltolaitokset toimivat lähtötilanteessa näitä energiatehokkaammin. Jätevedenpuhdistamoiden ja vesilaitosten (verkostot mukaan lukien) sähkönkulutus on samaa luokkaa kuin käytössä olleet suomalaiset vertailutiedot. Jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutuksesta saatiin tietoja neljältä alueelliselta ympäristökeskukselta. Tiedot oli koottu jätevedenpuhdistamoiden käyttötarkkailutiedoista ja ne kattoivat vaihtelevasti ympäristökeskusten alueilla olevat laitokset, sillä energiatietojen ilmoittaminen ei ole pakollista. Näin ollen osa tiedoista ei välttämättä ole erityisen luotettavia – osa laitoksista on ehkä ilmoittanut määrän vanhasta muistista tai tieto saattaa perustua lyhyemmän ajanjakson sähkönkulutukseen, joka on yleistetty koko vuodelle. Kun saadusta aineistosta kerätyt tiedot yleistettiin siten, että yli ja alle 10 miljoonaa m³ jätevettä puhdistavat laitokset käsiteltiin erillään ja yleistettiin koskemaan saman kokoluokan laitoksia Suomessa, saatiin jätevedenpuhdistamoiden sähkönkäytön määräksi n. 220 GWh/a. Tämä on jonkin verran alhaisempi kuin tämän tutkimuksen perusteella saatu tulos, n. 270 GWh, mutta kuitenkin samaa suuruusluokkaa. Mielenkiintoista oli, että vaikka alueellisista ympäristökeskuksista saadussa aineistossa osalla laitoksista sähkön ominaiskulutus saattoi olla hyvinkin korkea, näiden laitosten merkitys katosi yleistystä tehtäessä. Kyseisten laitosten käsittelemät jätevesimäärät olivat kaikkiaan niin pieniä, ettei niiden painoarvo muodostunut merkittäväksi kokonaissähkönkulutusta laskettaessa. Viemäriverkoston ja osittain myös jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutus olisi jonain toisena vuonna ollut korkeampi, sillä vuotovesien osuus jäi vuonna 2007 alhaiseksi. Kokonaissähkönkulutus on siis todennäköisesti tyypillisesti korkeampi kuin vuoden 2007 arvojen perusteella laskettuna.

Vesilaitosten sähkönkulutusta arvioitaessa oli vertailutietona Tilastokeskuksen arvio vesilaitosten sähkönkulutuksesta vuonna 2006. Sähkönkulutus oli n. 240 GWh, mikä on lähellä tässä tutkimuksessa arvioitua määrää, n. 230 GWh. Tilastokeskuksen arvio sisälsi kappaleessa 2.5 kuvattuja epävarmuustekijöitä.

Liittyjäkohtaiset sähkönkulutukset olivat tutkimusaineiston kulutuksista yleistettynä vesilaitoksilla (sis. vesijohtoverkosto) 49 kWh/hlö/a ja jätevedenpuhdistamoilla (sis. viemäriverkosto) 62 kWh/hlö/a tai 52 kWh/AVL/a. Kaikkiaan energiaa kului vesilaitoksilla (sis. vesijohtoverkosto) 56 kWh/hlö/a ja jätevedenpuhdistamoilla (sis. viemäriverkosto) 85 kWh/hlö/a tai 72 kWh/AVL/a. Laskennassa on käytetty energian kokonaiskulutuksia eli omaa energiantuotantoa ei ole huomioitu. Vesijohtoverkoston kuuluvien määräksi vuonna 2007 on arvioitu 4 785 000 ja viemäriverkoston kuuluviksi 4 333 000 henkilöä. Asukasvastineluvussa on käytetty oletusta 1 AVL = 70 g BOD₇. Tunnuslukujen tarkempi muodostuminen on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Tutkimusaineiston yleistyksestä lasketut arvot: energiankäyttö liittyjää kohden vuodessa.

	kWh/hlö/a	kWh/AVL/a
Jätevedenpuhdistamot ja viemäriverkosto: sähkö	62	52
Jätevedenpuhdistamot: (erillis)lämpö	23	20
Vesilaitokset ja vesijohtoverkosto: sähkö	49	
Vesilaitokset: (erillis)lämpö	7	

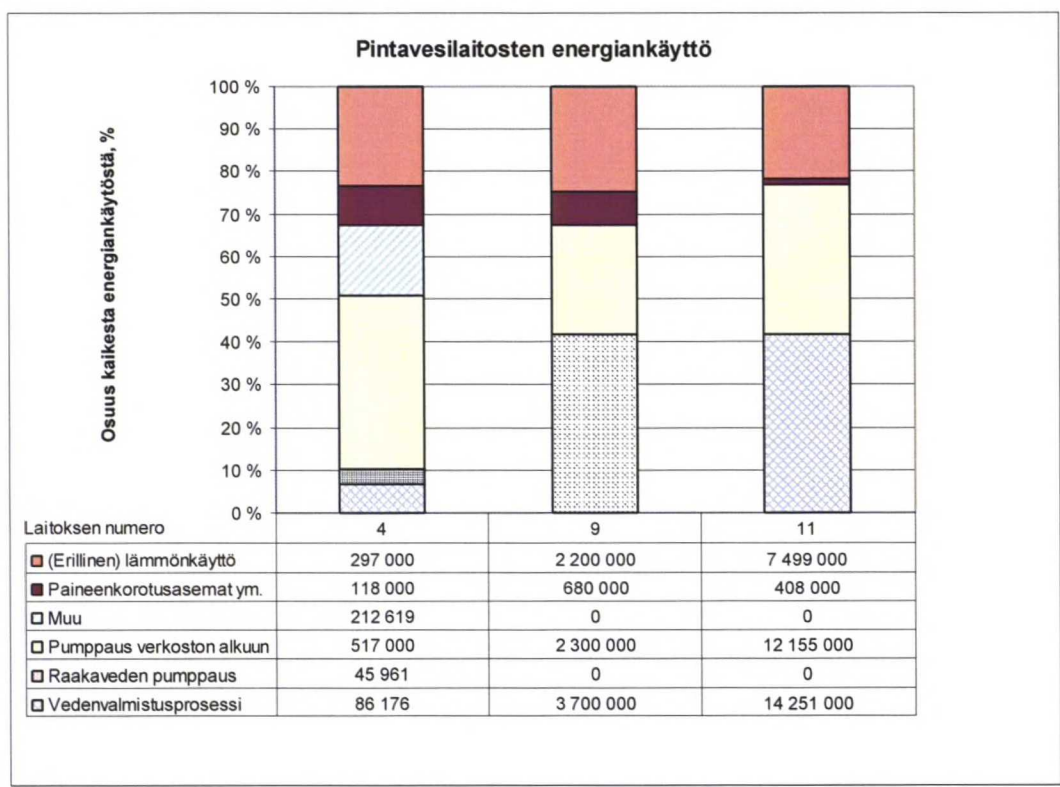
Taulukossa 13 esitetyt keskimääräiset energiatiedot poikkeavat selvästi sekä Ruotsin että saksan vastaavista arvoista. Jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutus on selvästi korkeampi kuin Saksassa (35 kWh/AVL/a). Jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutus on

kuitenkin huomattavasti alhaisempi kuin Ruotsissa (90–100 kWh/hlö/a), samoin energiankulutus kaikkiaan (Ruotsin arvo 133–148 kWh/hlö/a).

13.2 Energiankäytön jakautuminen ja ominaisenergiatiedot

13.2.1 Vesilaitokset

Vesilaitosten energiankäytön jakautumisesta saatiin tarkkoja tietoja kolmelta eri laitokselta (kuva 25). Kaikki kyseiset laitokset käyttävät raakavetenä pintavettä. Laitoksilla 9 ja 11 ei ole lainkaan raakaveden pumppausta vaan raakavesi tulee laitokselle omalla paineellaan.

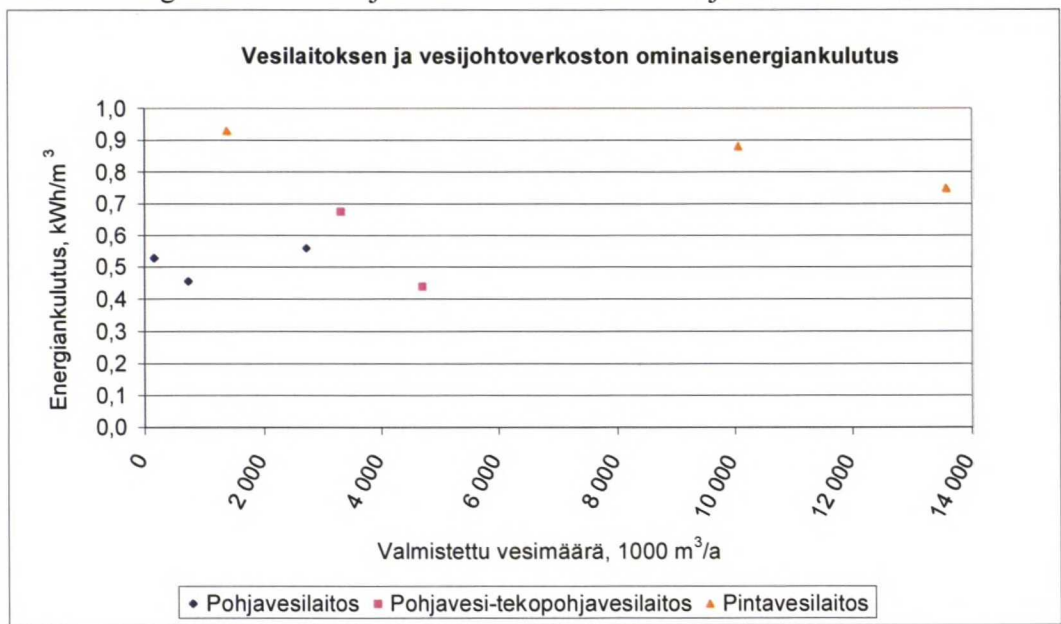


Kuva 25. Pintavesilaitosten energiankäytön jakautuminen eri toimintojen kesken. Kuvan arvot ilmaisevat energiankulutuksen yksikössä kWh/a.

Laitosten suurimpia sähkönkuluttajia ovat vedenvalmistusprosessi ja valmiin veden pumppaus verkoston alkuun. Laitokselta nro 4 oli eroteltavissa myös ”muun sähkönkäytön” eli esim. valaistuksen ja tietokoneiden sähkönkäytön osuus. Laitoksilla 9 ja 11 tämä sähkö todennäköisesti sisältyy vedenvalmistusprosessiin, sillä veden pumppaus verkoston alkuun, silloin kun se on tiedossa, tuskin sisältää paljon muuta pumppauksen sähkönkulutuksen. Kuvan 25 kaikilla kolmella laitoksella lämmön osuus kokonaisenergiankäytöstä oli merkittävä, n. 25 %. Kaikista tutkituista laitoksista kuusi ilmoitti käyttävänsä lämmitykseen kaukolämpöä tai öljylämmitystä. Näillä laitoksilla tuotetun lämmön määrä oli 2–27 % kaikesta käytetystä energiasta. Pienin osuus oli laitoksella, jonka kolmesta yksiköstä kahdella käytettiin muuta sähkölämmitystä.

Vesilaitosten toiminnan energiatehokkuudesta parhaan kuvan antaa laitosten kokonaisenergiankäytön vertaaminen suhteutettuna tuotettuun vesimäärään. Kun osa

laitoksista käyttää sähköä myös lämmittämiseen, pelkän sähkönkäytön vertailu ei antaisi todennukaista kuvaa toiminnan energiatehokkuudesta. Kuvassa 26 on esitetty vesilaitosten ominaisenergiankäyttö raakavesilähteen mukaan jaoteltuna. Vesijohtoverkoston sähkönkulutus sisältyy lukuihin. Sen osuus kokonaisenergiankulutuksesta jäi verkoston määritelmästä johtuen vähäiseksi.



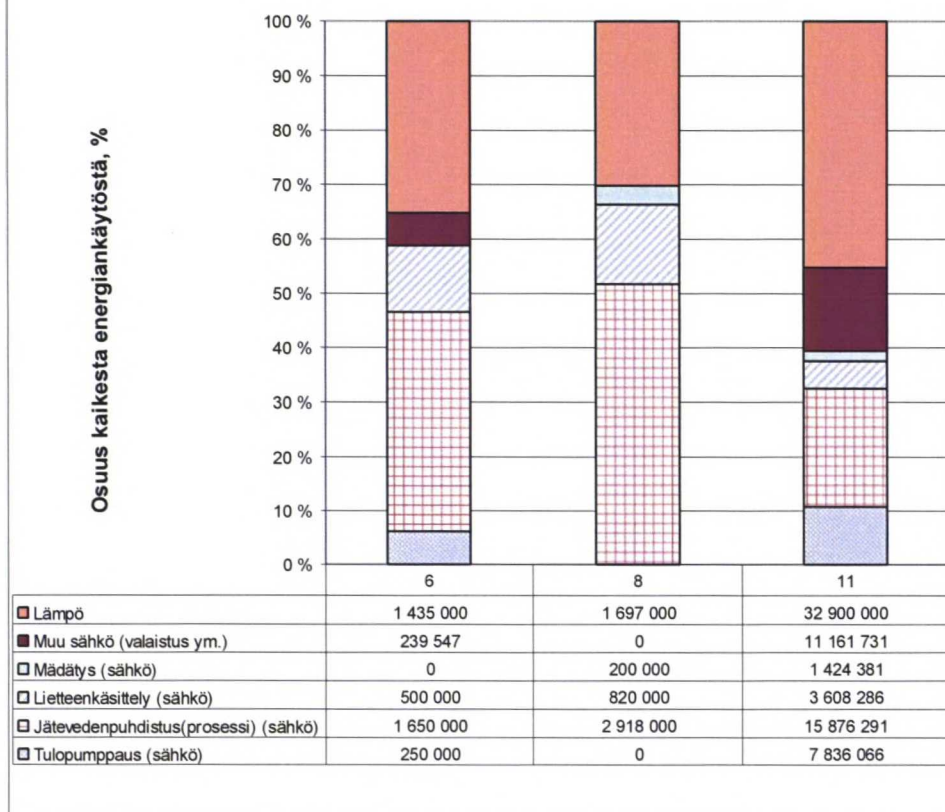
Kuva 26. Vesilaitosten ja vesijohtoverkoston ominaisenergiankäyttö.

Kuvan 26 ulkopuolelle jää kaikkein suurin laitos, jonka vuotuinen vesimäärä on n. 80 miljoonaa m³ ja energian ominaiskulutus 0,42 kWh/m³. Kuvasta on nähtävissä, että kaikkein suurinta laitosta lukuun ottamatta tutkitut pintavesilaitokset käyttävät suhteessa enemmän energiaa kuin pohjavettä ja tekopohjavettä käyttävät laitokset.

13.2.2 Jätevedenpuhdistamot

Jätevedenpuhdistamoiden energiankäytön jakautumisesta saatiin tarkkoja tietoja kolmelta eri laitokselta. Nämä tiedot on esitetty kuvassa 27.

Jätevedenpuhdistamoiden energiankäyttö



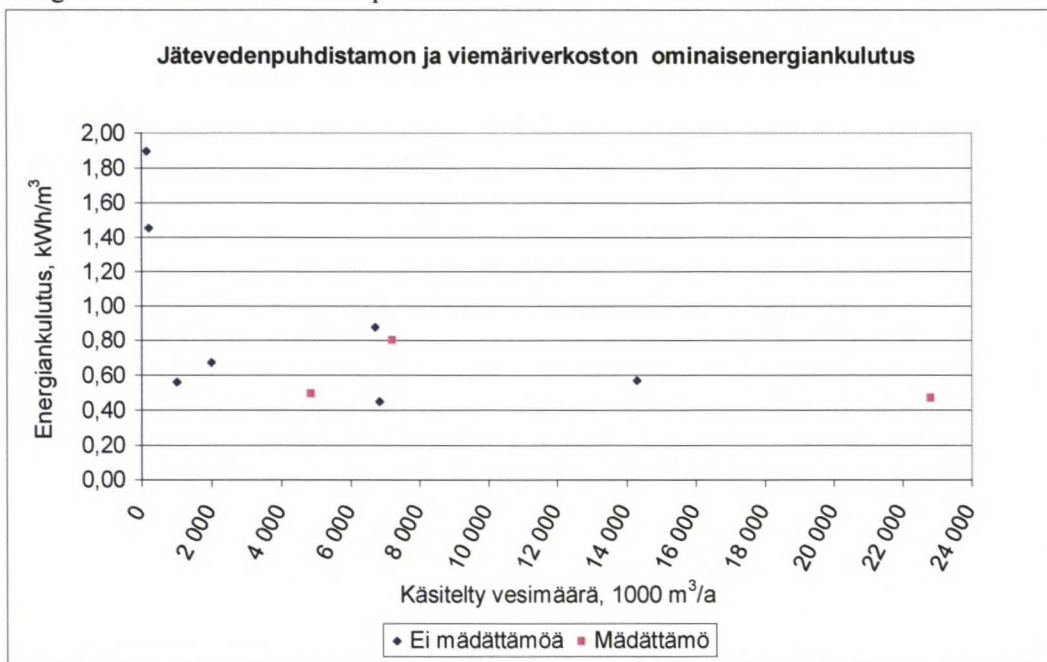
Kuva 27. Jätevedenpuhdistamoiden energiankäytön jakautuminen eri toimintojen kesken (omaa energiantuotantoa ei ole vähennetty energiankulutuksesta). Kuvan arvot ilmaisevat energiankäytön kokonaismäärät yksikössä kWh/a.

Jätevedenpuhdistamolla nro 8 tulopumppauksen sähkönkulutus ei ollut tiedossa ja se puuttuu kuvan tiedoista. Näin ollen laitoksen nro 8 muiden toimintojen merkittävyys pienenisi, jos tulopumppaus olisi sen luvuissa mukana. Palkkien eri osat ilmaisevat toimintoon käytetyn energian määrän eikä niistä ole vähennetty tuotettua sähköä ja lämpöä. Laitoksilla nro 8 ja 11 on käytössä määtys, johon kului kaikista lämmöstä 80 % laitoksella nro 8 ja 60 % laitoksella nro 11.

Kuvasta 27 on nähtävissä, että jätevedenpuhdistamoiden lämmöntarve ja jätevedenpuhdistusprosessin sähköntarve ovat merkittäviä kaikilla kolmella laitoksella. Laitoksilla 6 ja 11 on ollut eroteltavissa ”muu sähkönkulutus”; laitoksella 8 se todennäköisesti sisältyy jätevedenpuhdistusprosessin sähköön. Jätevedenpuhdistusprosessi kulutti laitoksilla nro 6, 8 ja 11 kaikesta sähköstä 63–74 %. Ilmastuksen osuus kaikesta käytetystä sähköstä oli tiedossa laitoksilla nro 6 ja 11. Näillä laitoksilla ilmastus muodosti n. 30 % kaikesta jätevedenpuhdistamon sähkönkäytöstä.

Jätevedenpuhdistamoiden toiminnan energiatehokkuudesta parhaan kuvan antaa laitosten kokonaisenergiankäytön vertaaminen suhteutettuna käsiteltyyn vesimäärään.

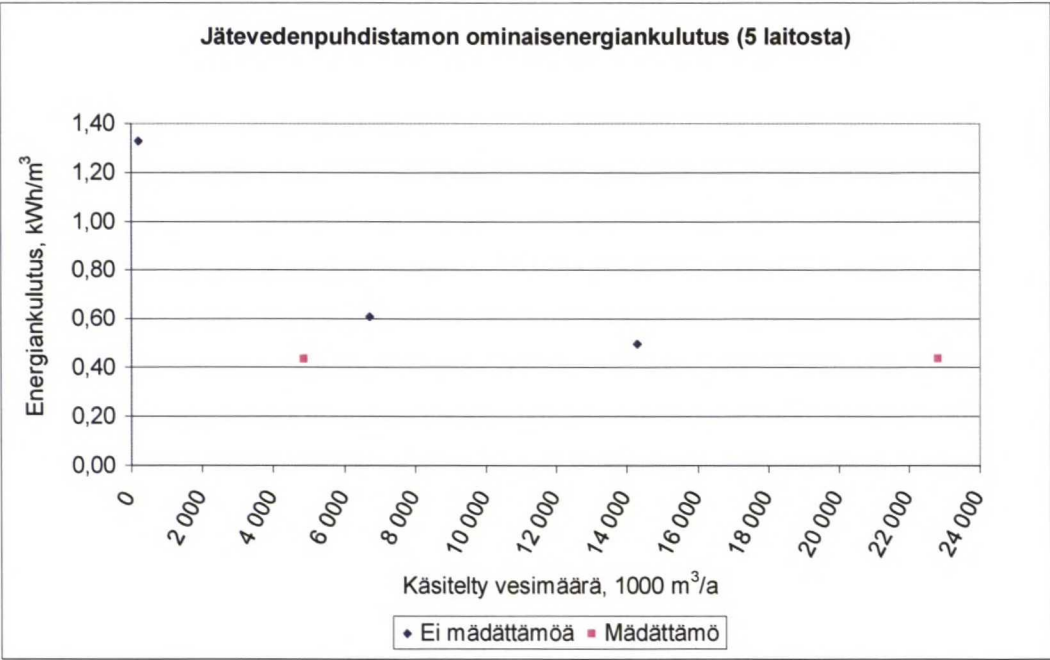
Periaatteessa tällöin tulisi erottaa ainakin laitos ja verkosto toisistaan, mutta kaikilla laitoksilla tämä ei ole mahdollista. Kuvassa 28 on esitetty tutkittujen laitosten ominaisenergiankulutuksia. Energiankulutustiedot sisältävät sekä jätevedenpuhdistamoiden että viemäriverkostojen energiankulutukset. Kuvassa on käytetty nettotarkastelua eli laitosten mahdollisesti tuottaman energian määrä on vähennetty kokonaiskulutuksesta. Näin on tehty riippumatta siitä, käytetäänkö tuotettu energia laitoksella vai sen ulkopuolella.



Kuva 28. Jätevedenpuhdistamoiden ja viemäriverkoston sähkön ja lämmön ominaiskulutukset (netto: oma energiantuotanto vähennetty käytetyn energian määrästä).

Suurimman, n. 100 miljoonaa m³/a jätevettä puhdistavan laitoksen energian nettokulutus oli 0,21 kWh/m³. Kyseisen jätevedenpuhdistamon alhainen energiankulutus johtui osittain tuotetun sähkön ja lämmön suurista määristä. Kaikkiaan energian nettokulutukset vaihtelivat välillä 0,21–1,90 kWh/m³. Kuvassa 28 näkyvä mädättämöllinen jätevedenpuhdistamo, jonka energiankäyttö on n. 0,80 kWh/m³, on laitos, jolla ilmastus ei ole tehokasta johtuen prosessin väärästä mitoituksesta.

Kyselyyn vastanneista laitoksista kuudelta saatiin tieto pelkän puhdistamon energiankulutuksesta (ilman verkostoa). Näistä laitoksista viiden tiedot on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. Jätevedenpuhdistamoiden sähkön- ja lämmönkulutukset viideltä laitokselta (netto; oma energiantuotanto vähennetty käytetyn energian määrästä). Tulopumppaus sisältyy puhdistamoiden energiankulutukseen.

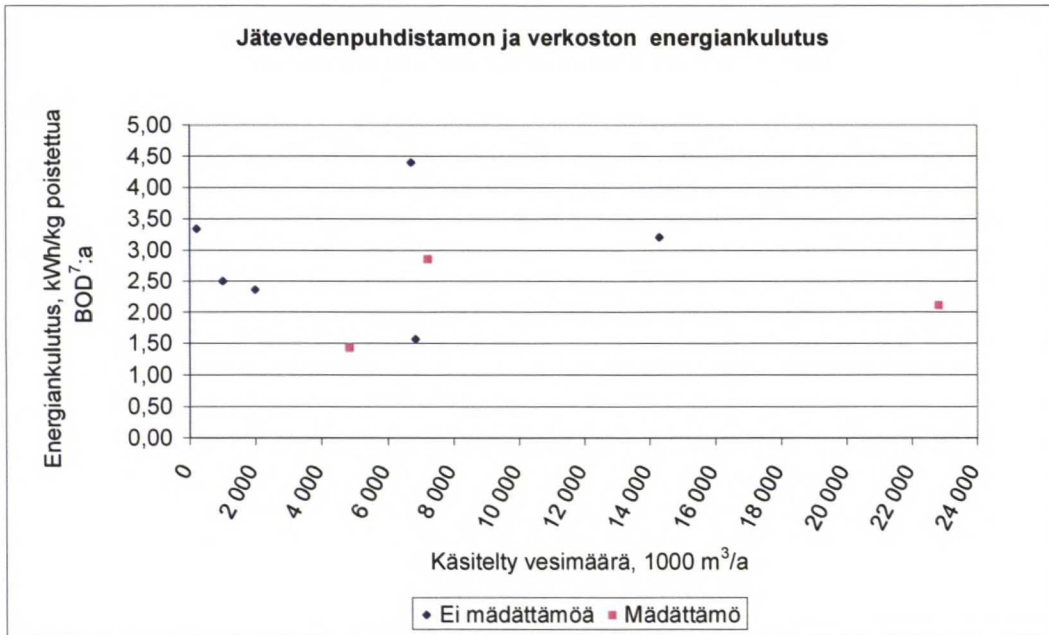
Suurimman laitoksen energiankulutus oli kaikkein alhaisin, 0,16 kWh/m³. Laitosten energian nettokulutukset vaihtelivat välillä 0,16–1,33 kWh/m³.

Taulukossa 14 on esitetty kootusti energiatiedot niiltä kuudelta laitokselta, joilta puhdistamon ja verkoston energiankulutukset olivat saatavilla samalla tavoin määriteltynä (tulopumppaus mukana laitoksen energiankulutuksessa).

Taulukko 14. Jätevedenpuhdistamoiden ja viemäriverkostojen ominaisenergiankulutukset kuudelta laitokselta.

Jätevedenpuhdistamon ominaisenergian- kulutus (netto) (6 laitosta)	Viemäriverkoston ominaisenergian- kulutus (6 laitosta)	Yhteensä
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/m ³
1,33	0,12	1,45
0,43	0,06	0,50
0,61	0,27	0,88
0,49	0,07	0,57
0,44	0,03	0,47
0,16	0,05	0,21

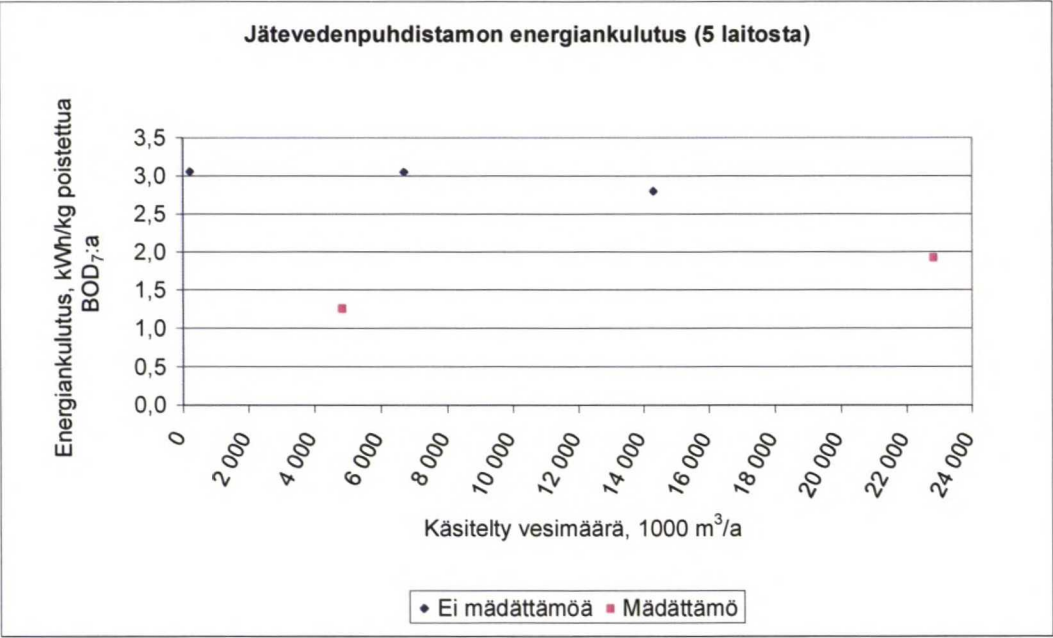
Käsiteltyyn vesimäärään suhteutettu energiankulutus ei yksinään anna hyvää käsitystä jätevedenpuhdistuksen energiatehokkuudesta. Jätevesihuollon keskeinen tehtävä (jäteveden pois johtamisen ohella) on ravinnekuormituksen poistaminen jätevedestä. Tutkittujen laitosten energiankäyttöä on suhteutettu poistettuun BOD₇ -kuormitukseen kuvassa 30.



Kuva 30. Jätevedenpuhdistamon energiankäyttö suhteessa poistettuun BOD₇ –kuormitukseen (nettotarkastelu).

Kun tarkastellaan energian nettokulutusta suhteessa poistettuun kuormitukseen, tutkituista laitoksista pienimpien ominaisenergiankäyttö ei enää ole suurinta. Kaikkein suurimman laitoksen energian nettokulutus oli kuitenkin edelleen alhaisin, 0,96 kWh/kg poistettua BOD:a. Energiankulutus vaihteli välillä 0,96–4,40 kWh/kg poistettua BOD:a.

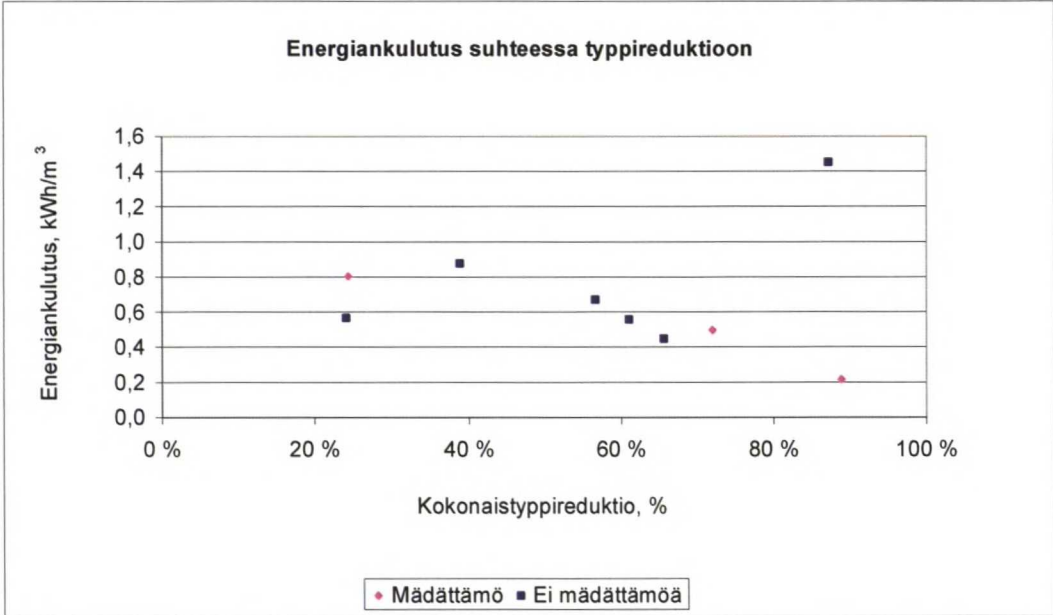
Kuudelta laitokselta saatiin tieto pelkän jätevedenpuhdistamon energiankulutuksesta (ilman verkostoa). Näistä viiden tiedot on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31. Viiden jätevedenpuhdistamon energiankäyttö suhteessa poistettuun BOD₇ – kuormitukseen (nettotarkastelu).

Suurimman jätevedenpuhdistamon energian nettokulutus oli vain 0,72 kWh/kg poistettua BOD₇:a. Laitosten energiankulutus vaihteli välillä 0,72–3,06 kWh/kg poistettua BOD₇:a.

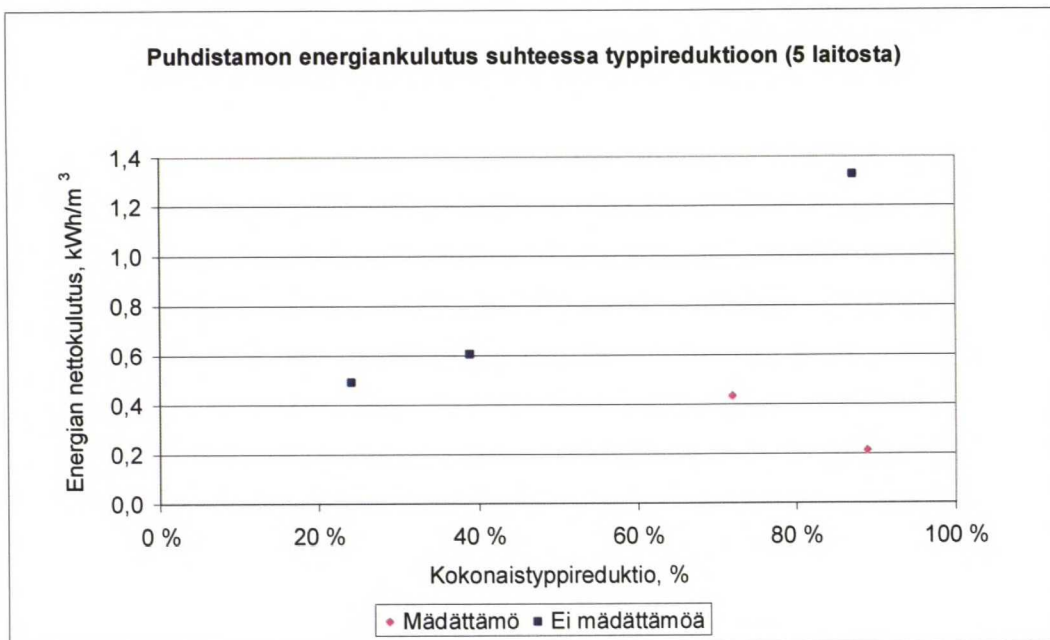
Typenpoisto esitetään usein tekijänä, joka nostaa jätevedenpuhdistamon energiantarvetta. Kuvassa 32 on esitetty energiankäytön suuruus suhteessa typenpoistotehokkuuteen niillä 9 laitoksella, joilta tällainen tieto oli saatavissa.



Kuva 32. Jätevedenpuhdistamon ja viemäriverkoston energian nettokulutus suhteessa kokonaistypenpoistotehokkuuteen.

Kuvan 32 luvuista on nähtävissä, että hyvin saman verran energiaa käyttävät laitokset saavuttavat energiankäytöllään hyvin vaihtelevia typenpoistoasteita. Typenpoisto ei siis ole ainakaan yksistään energiankäytön suuruuden määräävä tekijä.

Viideltä laitokselta saatiin tieto sekä kokonaistyyppireduktiosta että pelkän jätevedenpuhdistamon energiankulutuksesta. Nämä tiedot on esitetty kuvassa 33.



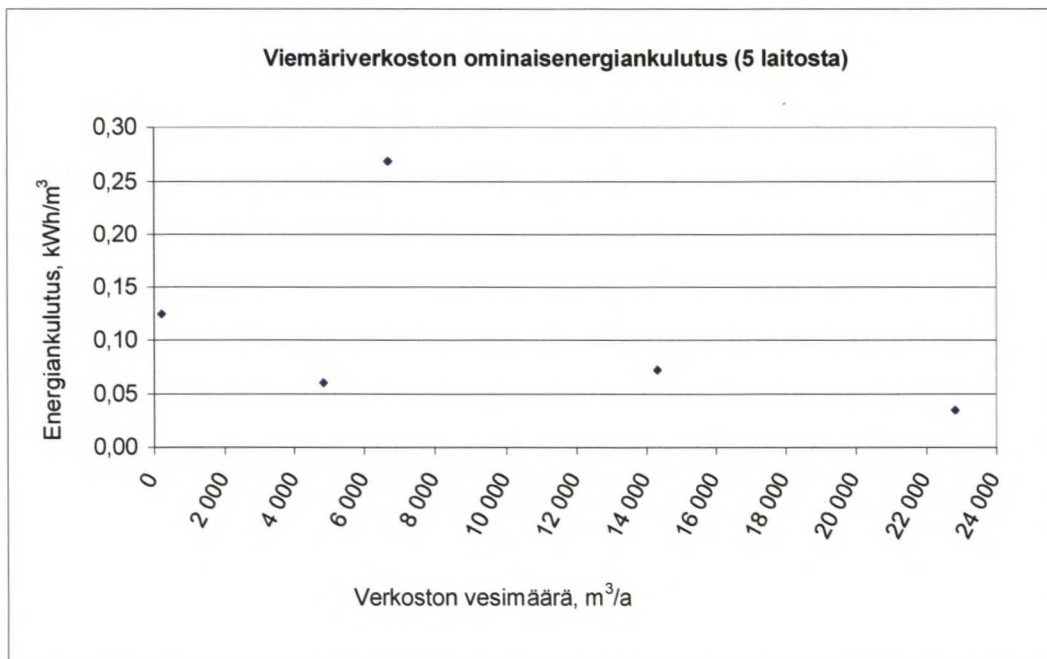
Kuva 33. Jätevedenpuhdistamon energian nettokulutus suhteessa kokonaistypenpoistotehokkuuteen.

Kuvien 32 ja 33 energiatiedoissa mädättämöissä tuotettu energia vaikuttaa tuloksiin siten, että se parantaa mädättämöllisten jätevedenpuhdistamoiden energiatehokkuutta.

Tutkimuksessa oli tarkoitus esittää myös laitosten energiankäyttö suhteutettuna OCP -indeksin avulla ilmaistuun poistettuun kuormitukseen (kg). Tämä ei kuitenkaan osoittautunut toimivaksi vaihtoehdoksi. OCP -indeksissä poistettua fosforikuormitusta painotetaan kertoimella 100, poistettua typpeä kertoimella 18 ja poistettua BOD -kuormitusta kertoimella 1. Koska fosforinpoisto tapahtuu kemiallisesti kaikilla tutkituilla laitoksilla ja laitosten vesi- ja kuormitusmäärät poikkeavat huomattavasti toisistaan, tarkastelu ei anna energiatehokkuutta kuvaavia tuloksia.

13.2.3 Viemäriverkosto

Tutkimuksessa viemäriverkosto oli määritelty siten, että tulopumppaus laskettiin jätevedenpuhdistamon energiankäyttöön. Näin määriteltynä tieto viemäriverkoston energiankulutuksen suuruudesta saatiin kuudelta eri laitokselta. Viemäriverkostosta saadut energiatiedot sisältävät vain sähkönkulutusta. Näistä viiden tiedot on esitetty kuvassa 34. Näiden laitosten viemäriverkostoissa lämmitys tapahtui sähköllä, joten kaikki energiankulutus oli sähköä.



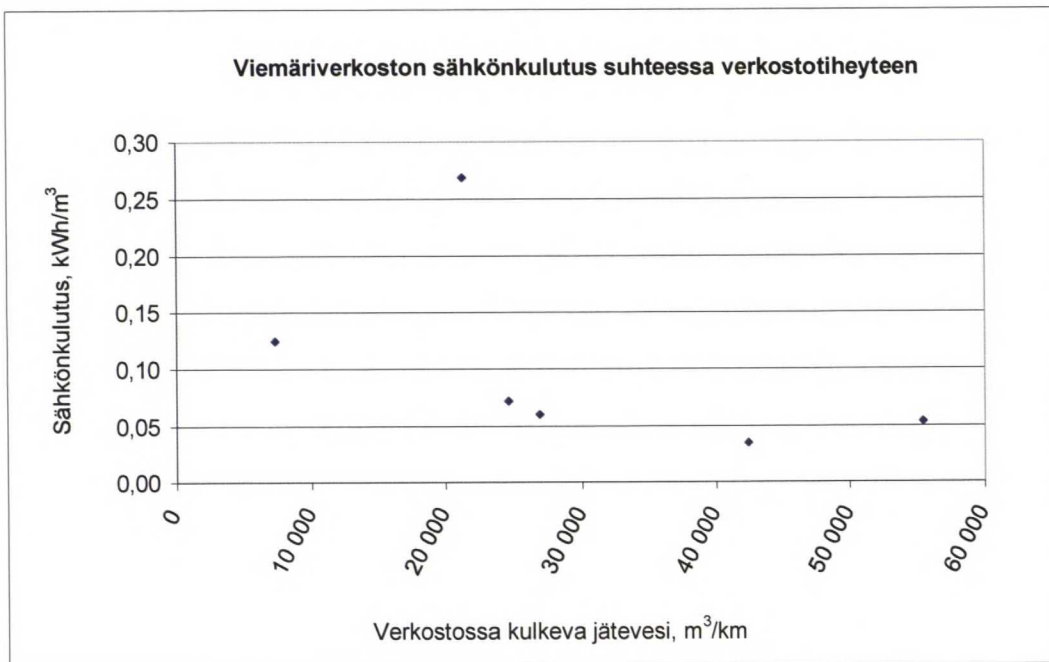
Kuva 34. Viemäriverkoston sähkönkulutus (5 laitosta).

Suurimman laitoksen viemäriverkoston sähkönkulutus oli $0,05 \text{ kWh/m}^3$ jäteveettä. Viemäriverkoston sähkönkulutus vaihteli välillä $0,03\text{--}0,27 \text{ kWh/m}^3$. Kyseisillä kuudella laitoksella viemäriverkoston sähkönkulutus muodosti 9–25 % kaikesta energiankäytöstä. Hieman yllättäen viemäriverkoston osuus oli suurin kaikkein suurimmalla laitoksella, vaikka viemäriverkoston ominaissähkönkulutus olikin siellä hyvin alhainen. Energiankäytön taso oli kuitenkin kyseisellä laitoksella kaikkiaan niin alhainen, että viemäriverkoston osuus nousi korkeaksi ehkä tästä syystä.

Eri laitosten viemäriverkostojen ominaisenergiankulutusten vertailu kuvassa 34 esitetyllä tavalla antaa kuvan verkoston toiminnasta kokonaisuutena. Viemäriverkoston alhainen sähkönkulutus voi ilmaista esim. sen, että verkosto on hyvin suunniteltu eikä siellä tarvita paljon pumppausta. Se ei siten suoraan kuvasta pumppaamojen energiatehokkuutta.

Tähän työhön oli tarkoitus sisällyttää myös viemäriverkoston energiatehokkuuden tarkastelu siten, että olisi huomioitu sekä verkostopituus että verkostossa kulkevat vesimäärät. Osoittautui kuitenkin, ettei tällainen luku ($\text{kWh/m}^3/\text{km}$) välttämättä ole kovin osuva kuvaamaan verkoston toimintaa. Eri laitosten verkostot sisältävät vaihtelevasti pumppausta edellyttäviä osuuksia ja näissä osuuksissa pumpataan vain osa kaikesta verkostossa kulkevasta jätevedestä. Kun halutaan verrata pumppauksen energiatehokkuutta verkostossa, pitäisi olla tiedossa todelliset pumpatut vesimäärät ja niiden kulkemat matkat. Tällöin voitaisiin vertailla sähkönkulutusta $\text{kWh/m}^3/\text{km}$.

Maankäytön suunnittelu ja sitä kautta verkostotiheys vaikuttavat sähkönkulutukseen. Kuvassa 35 on esitetty viemäriverkoston sähkönkulutus verkostotiheyteen suhteutettuna niillä kuudella laitoksella, joiden tiedoista tällainen luku oli laskettavissa.



Kuva 35. Viemäriverkoston sähkönkulutus suhteessa verkostotiheyteen.

Kuvasta 35 on nähtävissä, että suurimman jätevedenpuhdistamon viemäriverkostossa kulkee jätevettä lähes kymmenkertainen määrä kaikkein harvimman verkoston omaavaan laitokseen verrattuna. Tiheimmän verkoston omaavilla laitoksilla verkoston sähkönkulutus oli alhaisempi kuin muilla laitoksilla. Verkostotiheys ei kuitenkaan ollut ainoa verkoston sähkönkulutusta määräävä tekijä. Laitosten viemäriverkostoissa taajuusmuuttajat olivat melko yleisiä, niitä oli n. 60 %:ssa yli 20 kW:n pumppukokonaisuuksista.

13.3 Laitosten ja verkostojen lämmöntarve

Tutkituilla jätevedenpuhdistamoilla muulla tavoin kuin sähköllä tuotetun lämmön osuus kaikesta käytetystä energiasta oli 0–46 %. Lämmitykseen käytettiin kaukolämpöä, lämmitysöljyä ja biokaasua. Niillä kolmella laitoksella, joilla mädättämön osuus kokonaisenergiankulutuksesta oli tiedossa, lämmönkäyttö muodosti 31–46 % kaikesta energiankäytöstä. Nettotarkastelussa mädättämölaitosten lämmönkäyttö on kuitenkin vähäistä, joidenkin laitosten kohdalla jopa negatiivista, sillä osalla laitoksista lämpöä tuotettiin yli oman tarpeen. Kaikilla tutkituilla laitoksilla käytetyn lämmön määrät eivät anna tarkkaa kuvaa laitosten lämmöntarpeesta, sillä laitoksista viidellä oli käytössä yksinomaan sähkölämmitys ja muillakin laitoksilla osa tiloista saattoi lämmitä sähköllä. Laitosten lämmöntarve on siten suurempi kuin yksistään lämmönkäyttötietojen perusteella voi olettaa.

Mädätyksen lämmöntarpeesta saatiin tietoja kahdelta laitokselta. Näillä laitoksilla mädätysprosessi kulutti 60 % ja 80 % kaikesta laitoksilla käytetystä lämmöstä. Kaikkien jätevedenpuhdistamoiden todellisesta lämmöntarpeesta antaa aineistosta kuvan laitos nro 11, joka oli kyselyyn vastanneista ainoa, jolla lämpöä ei lainkaan tuotettu sähköllä ja jolla laitoksen kokonaislämmöntarve oli tiedossa. Kun mädättämön toiminta jätetään huomioimatta, puhdistamon lämmöntarve oli n. 15 % kokonaisenergiantarpeesta. Kun mädättämön vaatima energia huomioidaan, lämmöntarve oli 46 %.

Tutkituista laitoksista vain yksi ilmoitti ottavansa lämpöä talteen. Kyseisellä laitoksella lämmön talteenotto tapahtui mädätteestä ja lisäksi lämpöä otettiin talteen laitoksen ulkopuolella puhdistetusta jätevedestä. Laitoskäynnit kuitenkin paljastivat, että lämmön talteenottoa mädätteestä tapahtui myös joillain muilla kyselyyn vastanneista laitoksista. Mädätteen johtamista lämmönvaihtimeen jätevesilietteen kanssa ei joko automaattisesti mielletä lämmön talteenotoksi tai asia unohtui mainita kysymyksiin vastatessa.

Jotkut tutkituista laitoksista lämmittivät vesitorneja ja vesijohtoverkoston kohteita osittain kaukolämmöllä. Pääsääntöisesti verkostojen paineenkorotusasemat ja pumppaamot lämmitettiin sähköllä. Lämmityssähkön määrä ei pääsääntöisesti ollut laitoksilla tarkalleen tiedossa vaan siitä esitettiin arvioita. Poikkeuksen muodosti kaksi laitosta, joista toisella suurin osa vesijohtoverkoston käyttämästä sähköstä oli vesitornin lämmittämiseen käytettyä sähköä ja toisella ei ollut lainkaan paineenkorotusasemia ja valtaosa sähköstä kului eri kulutusalueiden rajapinnassa olevien ala-asemien lämmitykseen. Muiden laitosten edustajat arvioivat lämmityksen muodostavan 0,5–15 % verkoston sähkönkulutuksesta.

Paineenkorotusasemien sähkönkulutukseen liittyen saatiin vertailutietoina käyttöön Hämeenlinnan Seudun Veden 17 paineenkorotusaseman sähkönkulutustiedot. Yhdellä kyseisistä paineenkorotusasemista ei ollut pumpattu vuonna 2008 lainkaan vettä, jolloin kaikki käytetty sähkö kyseisellä maanalaisella asemalla oli lämmityssähköä. Sähkönkulutus oli siellä 1142 kWh/a. Jos käytetään tätä lukua jokaisen 17 paineenkorotusaseman lämmityssähkön määränä, saadaan jokin käsitys siitä, kuinka suuren osan lämmitys voi muodostaa paineenkorotusaseman sähkönkulutuksesta. Asemilla lämmityssähkön osuus kaikesta sähkönkulutuksesta vaihteli tämän laskennan perusteella välillä 5–38 % (pois lukien laitos, jolla ei pumpattu vettä lainkaan). Jos paineenkorotusasemien energiankulutukset lasketaan kaikki yhteen, kaikkien 17 paineenkorotusaseman lämmitykseen kului 22 % paineenkorotusasemilla käytetystä sähköstä. Kun todelliset lämmityssähkön määrät yksittäisillä paineenkorotusasemilla eivät ole tiedossa, voi tämän aineiston tuloksia pitää lähinnä suuntaa-antavina. Lämmitystarve varmasti vaihtelee myös eri paineenkorotusasemilla ja voi esim. maanpäällisellä asemalla olla tässä esitettyä arvoa suurempi. Joka tapauksessa vaikuttaa siltä, että lämmityssähkön osuus verkoston sähkönkulutuksesta olisi tiedostettua suurempi.

13.4 Veden lämmittäminen kotitalouksissa

Käyttöveden lämmittämiseen kuluu kotitalouksissa merkittävä määrä energiaa. Pientaloissa vedenlämmitykseen kuluu n. 12 % kaikesta energiasta, kerrostaloissa n. 27 %. (Motiva 2008; Shemeikka 2008.) Lisäksi osassa kiinteistöjä energiaa kuluu lämpimän veden kierrättämiseen käyttövesijärjestelmässä. Vettä kierrätetään, jotta lämmintä vettä olisi saatavilla heti hanan aukaisemisen jälkeen.

Kotitalouksissa tapahtuvasta veden lämmityksestä johtuvaa energiankäyttöä ja siitä seuraavia päästöjä voidaan arvioida seuraavasti: Vedenkulutus kaukolämpöverkon alueella yhtiömuotoisesti tai vuokralla asuvilla on n. 150 l/d/hlö. Tällaisia ihmisiä on n. 50 % Suomen väestöstä (2 650 000). Toinen puoli väestöstä asuu pientaloissa, joita on yhteensä miljoona ja joista neljänneksessä lämmitysmuotona on öljylämmitys, 700 000 lämpimää sähköllä ja 80 000 kaukolämmöllä. Pientaloissa vedenkulutus on n. 100–120 l/d/hlö. Käyttövedestä 40 % käytetään lämpimänä (55 °C). (J. Shemeikka 17.4.2009).

Veden lämmitykseen tarvittava energia on laskettavissa seuraavasta termodynamiikan kaavasta:

$$Q = cm\Delta T, \tag{5}$$

missä

Q = energiamäärä (kJ)

c = veden ominaislämpökapasiteetti (4,19 kJ/(kg·K))

m = veden massa (kg)

ΔT = veden lämpötilan muutos (K tai °C)

Veden lämmityksestä seuraavia kasvihuonekaasupäästöjä laskettaessa on oletettu, että vettä lämmitetään lähtölämpötilasta 10 °C lämpötilaan 55 °C. Erilaiset veden lämmitystavat tuottavat eri määriä päästöjä. Laskennassa on käytetty kaukolämmölle päästökerrointa 240 g CO₂/kWh, öljylämmitykselle päästökerrointa 296 g CO₂/kWh ja sähkölämmitykselle päästökerrointa 250 g CO₂/kWh. Kun oletetaan, että kaikissa kiinteistöissä asuu keskimäärin yhtä paljon ihmisiä, saadaan vedenlämmityksestä syntyviksi päästöiksi n. 1,26–1,36 miljoonaa t CO₂-ekv. Laskennassa ei ole huomioitu mahdollisesti lämpöpumpuilla tapahtuvaa veden lämmittämistä, mikä voi hieman laskea päästöjä. Toisaalta myöskään lämminvesivaraajien toiminnan hyötysuhteita ei ole huomioitu, mikä puolestaan nostaa päästöjä.

13.5 Vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöt

13.5.1 Energiankäytöstä seuraavat päästöt

Vesihuoltolaitosten energiankäytöstä seuraavien päästöjen määrä arvioitiin kappaleessa 13.1.1 esitettyjen energiamäärien ja kappaleessa 12.2.3 esitettyjen päästökerrointen avulla. Nämä päästömäärät on esitetty ilman päästövähennyksiä taulukossa 15.

Taulukko 15. Vesihuoltolaitosten toiminnasta energiankulutuksen perusteella aiheutuvat päästöt (ilman päästövähennyksiä).

	Kasvihuonekaasupäästöt, t CO ₂ /a		
	Sähkönkäytöstä	Lämmönkäytöstä	Yhteensä
Talousvesilaitokset + vesijohtoverkosto	59 000	8 000	67 000
Jätevedenpuhdistamot + viemäriverkosto	67 000	24 000	91 000

Vuonna 2006 jätevedenpuhdistamoilla tuotettiin vuonna 28 GWh sähköä ja 79 GWh lämpöä (Kuittinen *et al.* 2006). Käyttämällä keskimääräisiä sähkön- ja lämmöntuotannon kertoimia saadaan biokaasun tuottamisen päästöhyvityksiksi n. 26 000 t CO₂-ekv/a. Tämä päästö määrä voidaan ajatella vähennettävän jätevedenpuhdistamoiden päästöistä, jolloin jätevedenpuhdistamoiden ja viemäriverkoston päästöt ovat n. 65 000 t CO₂-ekv/a, hyvin samaa luokkaa kuin vesilaitosten ja vesijohtoverkoston päästöt. Päästövähennysten kohdentaminen jätevedenpuhdistamoille ei vastaa täysin todellisuutta, sillä osa jätevedenpuhdistamoiden tuottamasta sähköstä ja lämmöstä käytetään vesihuoltolaitosten ulkopuolella, jolloin päästövähennyksetkin tulisi kohdistaa sinne. Muualla käytetyn energian määristä ei kuitenkaan ollut tarkkoja tietoja.

13.5.2 Haihduntapäästöt

Jätevedenpuhdistuksesta syntyvien haihduntapäästöjen suuruutta on arvioitu tässä työssä kahdella tavalla. Yksi arvio haihduntapäästöjen suuruudesta on Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa esitetty, IPCC:n laskentamenetelmään perustuva päästömäärä. Toinen arvio on muodostettu käyttämällä Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla tehtyihin mittauksiin perustuvaa laskentamenetelmää. Kummatkin arviointimenetelmät on kuvattu kappaleessa 8.

Taulukossa 16 on esitetty ne lähtöarvot ja taulukossa 17 ne korrelaatiokertoimet, joita on käytetty arvioitaessa jätevedenpuhdistuksen haihduntapäästöjen määrää Viikinmäen laskentamenetelmällä.

Taulukko 16. Haihduntapäästöjen laskennassa käytetyt arvot (Viikinmäen laskentamenetelmä).

Tekijä	Arvo	Lähde
Suomen jätevedenpuhdistamoille tulevien jätevesien BOD ₇ vuonna 2006, t	124 257	Suomen ympäristökeskus 2009
Suomen jätevedenpuhdistamoiden jätevesien tyyppikuorman vähenemä vuonna 2006 (arvio), t	13 232	Suomen ympäristökeskus 2009
Jätevedenpuhdistamoiden tuottama biokaasu vuonna 2006, m ³	23 508 000	Kuittinen <i>et al.</i> 2006

Taulukko 17. Viikinmäen laskentamenetelmän korrelaatiokertoimet

Kasvihuonekaasu	Korreloiva tekijä	Korrelaatiokerroin	Yksikkö
Metaani	BOD ₇ , tuleva vesi	1,31E-02	kg/kg
	Tuotettu biokaasu	7,31E-03	kg/m ³
Dityppioksidi	Poistettu typpi	1,62E-02	kg/kg

Taulukoissa 16 ja 17 esitetyistä arvoista lähtien saadaan jätevedenpuhdistuksesta ja biokaasutuksesta koituvien haihduntapäästöjen määräksi yhteensä 109 000 t CO₂-ekv/a. Tämän päästömäärän muodostuminen on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Suomen jätevedenpuhdistamoiden haihduntapäästöt Viikinmäen laskentamenetelmän perusteella.

	Kasvihuonekaasupäästöt, t CO ₂ -ekv/a
Jätevedenpuhdistuksesta syntyvä metaani	41 000
Mädätteen varastoinnista ja biokaasutuksen satunnaisvuodoista syntyvä metaani	4 000
Jätevedenpuhdistuksesta syntyvä dityppioksidi	64 000

Taulukossa 19 on esitetty Kasvihuonekaasuinventaarion sisältämät arviot jäteveden käsittelyn ja purkamisen ja jätevesilietteen kompostoinnin ja kaatopakkasijoituksen haihduntapäästöistä. Tässä työssä on käytetty IPCC:n vuoden 2007 päästökertoimia, mistä johtuen työssä esitetyt päästömäärät poikkeavat hiukan inventaariossa esitetyistä päästömääristä, joissa on käytetty IPCC:n vuoden 1995 päästökertoimia. Metaanin päästökerroin on tarkentunut vuoden 2007 kertoimissa arvosta 21 arvoon 25 ja dityppioksidin kerroin vastaavasti 310:sta 298:aan. Vuoden 2007 kertoimia vastaavat päästöt on siten saatu kertomalla kasvihuonekaasuinventaarion metaanipäästöt luvulla 25/21 ja dityppioksidipäästöt luvulla 298/310.

Taulukko 19. Kasvihuonekaasuinventaarion mukaiset haihduntapäästöt vuonna 2007 esitettynä vuoden 1995 ja vuoden 2007 IPCC:n päästökertoimilla.

Päästölähde	Päästöt vuonna 2007, t CO ₂ -ekv.	
	vuoden 1995 kertoimilla	vuoden 2007 kertoimilla
Metaanipäästöt jäteveden käsittelystä, mädätteen varastoinnista ja biokaasutuksen satunnaisvuodoista	15 000	18 000
Jäteveden purkamisen dityppioksidipäästöt	53 000	51 000
Jäteveden käsittelyn dityppioksidipäästöt	0	0
Jätevesilietteen kompostoinnin metaanipäästöt	28 000	33 000
Jätevesilietteen kompostoinnin dityppioksidipäästöt	25 000	24 000
Jätevesilietteen kaatopaikkasijoituksen metaanipäästöt	20 000	24 000

Taulukosta 19 on laskettavissa, että Suomen jäteveden puhdistuksen ja vesistöön purkamisen päästömääräksi on kasvihuoneinventaariorissa arvioitu 69 000 t CO₂-ekv/a. Jätevesilietteen kompostoinnista ja kaatopaikkasijoituksesta on puolestaan arvioitu syntyvän 81 000 t CO₂-ekv/a päästöjä.

Kasvihuonekaasuinventaarion ja Viikinmäen laskentamallin arviot jätevedenpuhdistuksesta syntyvien päästöjen suuruudesta poikkeavat toisistaan selvästi. Jätevedenpuhdistuksesta ja biokaasutuksesta syntyvien päästöjen määrä on Viikinmäen mallilla laskettuna kuusinkertainen kasvihuonekaasuinventaariorissa esitettyyn määrään nähden. Lisäksi Viikinmäen mallin perusteella suoraan jätevedenpuhdistusprosessista syntyvän dityppioksidin määrä on merkittävä, kun taas kasvihuonekaasuinventaariorissa tällaista lähdettä ei ole huomioitu erikseen lainkaan ja prosessista syntyvissä päästöissä hallitsevana pidetään metaania.

13.5.3 Kuljetusten päästöt

Vesihuoltolaitosten toimintaan liittyvistä kuljetuksista on tarkasteltu tässä työssä lietteen kuljetuksia. Tutkituilla jätevedenpuhdistamoilta jätevesiliete kuljetettiin jatkokäsittelyyn 0–60 km päähän. Laitoskohtaisten kuljetusetäisyyksien keskiarvo oli 21 km ja sitä on käytetty laskennassa keskimääräisenä kuljetusetäisyytenä. VTT:n LIPASTO -laskentajärjestelmässä on esitetty autotyypikohtaisia päästökertoimia (g CO₂-ekv/km). Tässä työssä lietteenkuljetusten päästöjen arvioinnissa on käytetty oletusta, että 50 % lietteenkuljetuksista tapahtuu täysperävaunuyhdistelmällä ja 50 % puoliperävaunuyhdistelmällä ja että kaikki kuljetukset tehdään täydellä lastilla. Laskennassa on käytetty vuoden 2007 keskimääräisiä päästökertoimia: täysperävaunuyhdistelmälle 1347 g CO₂-ekv/km, puoliperävaunuyhdistelmälle 1113 g CO₂-ekv/km. Täysperävaunuyhdistelmän täysi kuorma on 40 t, puoliperävaunuyhdistelmän 25 t. Jätevesilietteen määrälle laskennassa on käytetty arviota 1,1 miljoonaa t/a (Suomen ympäristökeskus 2006), joka on vuoden 2003 jätevesilietteen määrän vähimmäisarvio. Näillä oletuksilla saadaan lietteenkuljetusten päästöiksi n. 900 t CO₂-ekv/a, mikä on hyvin vähäinen päästö verrattuna vesihuoltolaitosten muun toiminnan aiheuttamiin päästöihin.

13.5.4 Kompostoinnin sähkönkulutuksen päästöt

Kompostointi tuottaa päästöjä paitsi suorina haihduntapäästöinä, myös kompostoinnin edellyttämän energiankulutuksen kautta. Laskennassa on käytetty kompostoinnin sähköntarpeelle arvoa 80 MJ/t lietettä, kun kompostoitavan lietteen kuiva-ainepitoisuus

on 33 % (Myllymaa *et al.* 2008b). Suomessa kompostoidun jätevesilietteen määrä kuiva-aineena oli vuonna 2007 135 000 t (Tilastokeskus 2009), jolloin kompostoinnin sähkönkulutukseksi saadaan 9 GWh/a ja syntyviksi päästöiksi n. 2000 t CO₂-ekv/a.

13.5.5 Päästöt kaikkiaan

Vesihuoltolaitosten toiminnasta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt on esitetty taulukossa 20 päästölähteittäin. Taulukossa on esitetty päästöt kaikkiaan (ilman biokaasun tuotannosta syntyviä vähennyksiä).

Taulukko 20. Vesihuoltolaitosten päästöt päästölähteittäin, t CO₂-ekv/a.

Päästölähde	Kasvihuonekaasupäästöt, t CO ₂ /a	
	minimi	maksimi
Talousvesilaitosten ja vesijohtoverkoston energiankäyttö	67 000	
Jätevedenpuhdistamoiden ja viemäriverkoston energiankäyttö	91 000	
Jätevedenpuhdistus ja mädätys (haihduntap.)	18 000	109 000
Puhdistetun jäteveden purkaminen (haihduntap.)	51 000	
Lietteen kompostointi (haihduntap.)	57 000	
Lietteen kaatopaikkasijoitus (haihduntap.)	24 000	
Lietteen kompostoinnin sähkönkulutus	2 000	
Lietteen kuljetukset	1 000	
Yhteensä	312 000	403 000

Taulukosta 20 on nähtävissä, että riippuen siitä, käytetäänkö haihduntapäästöille minimi- vai maksimiarviota, vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöjen määrä on n. 310 000–400 000 t CO₂-ekv/a. Arvion alarajalla jätevedenpuhdistuksen haihduntapäästöt ovat Kasvihuonekaasuinventaarion mukaiset, arvion ylärajalla Viikinmäen laskentamallin mukaiset. Haihduntapäästöjen osuus kokonaispäästöistä on merkittävä, 48–60 %, joskin haihduntapäästöjen määrän arviointiin liittyy myös huomattavia epävarmuuksia. Kuljetusten ja kompostoinnin sähkönkulutuksen osuus päästöistä on marginaalinen. Kaikkiaan päästöjen määrä on melko alhainen: vesihuoltolaitosten energiankäytöstä seuraavat päästöt (n. 130 000 t CO₂-ekv/a) vastaavat noin kymmenesosaa kotitalouksissa tapahtuvan käyttöveden lämmityksen päästöistä.

13.6 Päästöjen vähentäminen

13.6.1 Energian talteenoton ja tuotannon potentiaali

Suomessa käsitellään vuosittain n. 500 miljoonaa m³ jätevettä (Siekkinen 2008). Alentamalla tämän jäteveden lämpötilaa kuudella asteella olisi teoriassa mahdollista saada talteen 3,5 TWh. Potentiaali on laskettu olettaen, että jäteveden lämpötila laskisi 6 °C. Laskennassa on käytetty kaavaa 4. Teoreettinen potentiaali on huikea, jos sitä vertaa esim. tässä työssä arvioituun vesihuoltolaitosten lämmönkäyttöön, n. 140 GWh/a.

Biokaasun lisätuottamisen potentiaali on arvioitu tässä työssä siten, että mädätys ja biokaasun energiahyödyntäminen otettaisiin käyttöön jätevedenpuhdistamoilla, joiden AVL on yli 10 000. Näillä laitoksilla tuotettavan lietteen määrä oli vuonna 2002 kuiva-aineena ilmaistuna n. 110 000 t/a (Kangas 2003). Kun oletetaan, että tästä kuiva-aineesta 60 % on orgaanista ainetta ja että tämän orgaanisen aineen

metaanintuottopotentiaali on keskimäärin $475 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$ ja korkeimmillaan $640 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$, saadaan lietteen metaanintuottopotentiaaliksi kaikkiaan $31\,350\,000\text{--}42\,240\,000 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{a}$.

Mikroturbiinilla saadaan tuotettua biokaasusta sähköä 30 % hyötysuhteella ja kaasumootorilla 40 % hyötysuhteella. Jos oletetaan, että metaanista 35 % käytetään sähköntuotantoon ja 55 % lämmöntuotantoon, saadaan sähkön ja kaukolämmön tuottamisesta syntyvien päästöhyvitysten arvoksi n. $69\,000\text{--}93\,000 \text{ t CO}_2\text{-ekv/a}$. Hyvitysten laskennassa on käytetty samoja keskimääräisiä sähkön- ja kaukolämmöntuotannon kertoimia kuin päästöjä laskettaessa: sähkö $250 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$, lämpö $240 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$. Päästövähennysten todellinen määrä riippuu kuitenkin aina siitä, millä menetelmin tuotettua energiaa sillä korvataan ja paikalliset olosuhteet voivat siten vaikuttaa huomattavasti päästöhyvitysten suuruuteen. Vuoden 2006 biokaasun hyödyntämisestä koitui n. $26\,000 \text{ t CO}_2\text{-ekv}$ päästövähennys.

Mädätysprosessin energiankulutus aiheuttaa päästöjä. Käyttämällä luvussa 9.2.1 esitettyä termofiilisen mädätyksen sähkön- ja lämmöntarvetta (sähköä 60 MJ/t , lämpöä 240 MJ/t) ja oletusta, että lietteen kuiva-ainepitoisuus on 5 %, saadaan mädätyksen sähköntarpeeksi kaikkiaan 37 GWh ja lämmöntarpeeksi 147 GWh , mitkä vastaavasti vähentävät mädätyksestä saatavia päästöhyötyjä $9\,000$ ja $35\,000 \text{ t CO}_2\text{-ekv/a}$ eli yhteensä $44\,000 \text{ t CO}_2\text{-ekv/a}$. Tämä tarkoittaa, että mahdollisista päästöhyvityksistä jopa 60 % häviää, kun tarkastelussa huomioidaan myös prosessin oma energiantarve. Lisäksi rejektivesien käsittelyyn kuluu energiaa, mikä sekin lisää päästöjä. Mädätteen kompostoinnin energiankulutuksesta seuraavat päästöt voidaan olettaa marginaalisiksi.

Mikäli kaikki yli $10\,000 \text{ AVL}$ jätevedenpuhdistamoilla tuotettu biokaasu käytettäisiin ajoneuvopolttoaineena korvaamaan dieseliä, olisivat saavutettavat päästöhyvitykset enimmillään $75\,000\text{--}101\,000 \text{ t CO}_2\text{-ekv/a}$. Laskennassa on käytetty kappaleessa 10.3.7 esitettyjä oletuksia biokaasun jalostamisesta: jalostuksessa biokaasun saanto on 95 % ja käsittelyn energiantarve on 5 % saatavan kaasun energiasisällöstä. Energiantarpeen on oletettu olevan sähköä (päästökerroin $250 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kWh}$) ja dieselöljyn päästökertoimen $73,6 \text{ g/MJ}$ (Tilastokeskus 2006). Jalostuksen sähkönkulutuksesta johtuvat päästöt ovat $4\text{--}5 \text{ t CO}_2\text{-ekv/a}$. Kun tähän lisätään mädätysprosessin energiankulutuksesta seuraavat päästöt, ovat mädätyksestä syntyvät päästöt kaikkiaan $48\,000\text{--}49\,000 \text{ t CO}_2\text{-ekv/a}$. Laskennassa ei ole huomioitu kaasun paineistusta, joka lisäisi liikennepolttoainekäytön päästöjä.

Liete on myös mahdollista polttaa. Termisesti kuivatun jätevesilietteen polttoarvoksi esitetään lähteessä Myllymaa *et al.* 2006 $10\text{--}15 \text{ MJ/kg}$, kun jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuus on 90 %. Jos oletetaan, että kaikki yli $10\,000 \text{ AVL}$ jätevedenpuhdistamoilta syntyvä liete poltettaisiin, voitaisiin näin tuottaa energiaa $340\text{--}510 \text{ GWh}$. Laskennassa on jälleen käytetty lietteen kokonaismääränä $110\,000 \text{ t kuiva-ainetta/a}$. Jätteen arinapolton sähköntuotannon hyötysuhde on 20–25 % ja leijupetipolton sähköntuotannon hyötysuhde 25–30 % (Vesanto 2006). Jos oletetaan, että sähköä saataisiin lietteenpoltosta tuotettua 25 % ja lämpöä 55 % (kokonaishyötysuhteella 80 %), saadaan keskimääräisiä kertoimia käyttämällä syntyviksi päästöhyvityksiksi $66\,000\text{--}99\,000 \text{ t CO}_2\text{-ekv/a}$. Polton edellyttämä terminen kuivaus kuitenkin kuluttaa energiaa. Kun käytetään aiemmin luvussa 6.2.4 esitettyjä termisen kuivauksen energiantarpeita ja oletusta, että lietteen kuiva-ainepitoisuus on lähtötilanteessa 25 %, saadaan termisen kuivauksen prosessisähkön tarpeeksi 47 GWh/a .

ja kevyen polttoöljyn tarpeeksi 22 500 t/a. Käyttämällä keskimääräistä sähköntuotannon päästökerrointa 250 g CO₂-ekv/kWh ja kevyen polttoöljyn päästökertoimena Tilastokeskuksen polttoaineluokituksesta saatavaa kerrointa 3,164 t CO₂-ekv/t (kevyen polttoöljyn polttoarvo 0,427 TJ/t ja oletuspäästökerroin 74,1 t CO₂/TJ), saadaan termisen kuivauksen sähköntarpeen päästöiksi 11 600 t CO₂-ekv/a ja 71 000 t CO₂-ekv/a. Nämä päästöt yhteensä, 82 600 t CO₂-ekv/a, syövät lähes kaikki tuotetut päästöhyödyt. Päästöjen kannalta edullista olisikin käyttää kuivauksessa polttoprosessista tai muualta saatavaa hukkalämpöä.

Taulukossa 21 on esitetty kootusti jätevesilietteen eri energiahyödyntämisvaihtoehdoista syntyvien päästöhyvitysten potentiaali.

Taulukko 21. Jätevesilietteen eri hyödyntämisvaihtoehtojen päästöhyvitykset, kun tarkastelu tehdään pelkän energiantuotannon päästöjen perusteella.

	Päästöhyvitykset	Syntyvät päästöt	Päästöhyvitykset, erotus
	t CO ₂ -ekv/a	t CO ₂ -ekv/a	t CO ₂ -ekv/a
Biokaasutus + sähkön ja lämmön tuotanto biokaasusta	69 000–93 000	44 000	25 000–49 000
Biokaasutus + jalostetun kaasun ajoneuvopolttoainekäyttö	75 000–101 000	48 000–49 000	27 000–52 000
Lietteenpoltto	66 000–99 000	83 000	-17 000–16 000

Taulukkoa 21 luettaessa on syytä muistaa, että biokaasua tällä hetkellä hyödynnetään jo. Kyseisen hyödyntämisen päästöhyvitykset ovat n. 26 000 t CO₂-ekv/a, joskin hyvitysten määrää olisi mahdollista lisätä jonkin verran parantamalla kaasuntuottoa ja nostamalla biokaasun hyödyntämisastetta. Taulukon 21 tarkastelussa ei ole huomioitu lietteenpoltossa ja biokaasutuksessa syntyviä vähäisiä määriä N₂O- ja CH₄-päästöjä.

Huomattavasti merkittävämpi tekijä on kuitenkin se, että taulukon 21 tarkastelussa ei ole huomioitu mädätteen kompostoinnista tai lietteenpoltosta syntyviä haihduntapäästöjä (eikä myöskään kompostoinnin sähkönkulutusta, jonka merkitys on kuitenkin vähäinen). IPCC:n ohjarvo (2006) jätevesilietteen polton N₂O-päästökertoimeksi on 0,99 kg N₂O/t lietteen kuiva-ainetta. Tällä kertoimella arvioituna jätevesilietteen poltosta syntyisi kasvihuonekaasupäästöjä n. 32 000 t CO₂-ekv/a. Suomen jätevesilietteen kompostoinnista syntyville haihduntapäästöille on käytetty tässä työssä Kasvihuonekaasuinventaarion arviota 57 000 t CO₂-ekv/a (vuoden 2007 IPCC:n kertomilla). Arvio perustuu vuonna 2007 kompostoidun jätevesilietteen määrään, 135 000 t kuiva-ainetta. Tässä kuiva-ainemäärässä on mukana myös tukiaine. Lisäksi ei ole selvillä, miten kompostoinnista syntyvien haihduntapäästöjen määrään vaikuttaa se, että merkittävä osa mädätteen sisältämästä orgaanisesta aineesta on kompostointihetkellä jo hajonnut. Näistä syistä johtuen pelkän mädätetyn jätevesilietteen kompostoinnista syntyvien haihduntapäästöjen määrän arviointi ei ole ollut tässä työssä mahdollista. Kuinka haihduntapäästöjen muodostuminen vaikuttaa eri lietteenkäsittelyvaihtoehtojen päästötaseeseen, jää selvitettäväksi jatkotutkimuksissa.

13.6.2 Energiankäytön vähentämisen potentiaali

Tutkittujen vesihuoltolaitosten ominaisenergiankulutukset (kWh/m³) erosivat toisistaan selvästi. Erot ominaiskulutusten välillä eivät kuitenkaan olleet valtavia vaan kaikki ominaiskulutukset olivat ainakin samaa kertaluokkaa. Aineiston perusteella ei ole mahdollista arvioida tarkasti energiankäytön vähennyspotentiaalia, sillä tällöin tulisi

tuntee kunkin laitoksen toimintaolosuhteet. Jonkinlainen arvio voidaan kuitenkin esittää diplomityötä varten kuultujen asiantuntijoiden mielipiteiden, laitospohjaisten tietojen ja muiden Pohjoismaiden vastaavien selvitysten pohjalta.

Ruotsissa vesijohto- ja viemäriverkoston sähkönkäytön vähennyspotentiaaliksi on arvioitu 10 %. Tämän suuruiseksi arvioi vähennyspotentiaalin Suomessa myös suomalainen verkostoasiantuntija (riippumatta ruotsalaisesta arviosta). Pumpaamokohtaiset vähennyspotentiaalit voivat olla selvästi suurempia, mutta kun verkoston pienimpiä pumppuja ei ole taloudellisesti kannattavaa tehostaa, jää keskimääräinen osuus vähäisemmäksi. Vertailun vuoksi esim. Norjassa on arvioitu vesijohto- ja viemäriverkoston sähkönkäytön vähennyspotentiaaliksi 5 %. Myös vesilaitoksilla ja jätevedenpuhdistamoilla sähkökäyttöä voi olla mahdollista tehostaa useissa kohteissa. Norjassa sähkökäyttöä on arvioitu voitavan vähentää vesilaitoksilla 7 % ja jätevedenpuhdistamoilla 9 %, Ruotsissa vastaavasti 8 % ja 13 %.

Jos oletetaan, että Suomessa pystyttäisiin vesijohtoverkoston kuntoa parantamalla vähentämään vesijohtoverkoston pumpattavan veden määrää 5 % ja vastaavasti viemäriverkoston kuntoa parantamalla vähentämään viemäriverkostossa pumpattavan jäteveden määrää 5 % ja tämän lisäksi sekä laitoksilla että verkostoissa sähkökäyttöä voitaisiin tehostaa 10 %, saadaan keskimääräisillä sähkön- ja lämmöntuotannon kertoimilla päästövähennyspotentiaaliksi n. 18 000 t CO₂-ekv/a. Tämä vastaa 14 % vähennystä nykyisistä energiankäytön päästöistä (biokaasun hyödyntäminen huomioituna).

13.6.3 Päästövähennyspotentiaali kaikkiaan

Tässä työssä pyrittiin löytämään keinoja vähentää päästöjä tehostamalla energiankäyttöä ja lisäämällä omaa energiantuotantoa. Päästövähennyspotentiaali on hahmoteltu näiden pohjalta. Yhdistämällä kappaleissa 13.6.1 ja 13.6.2. esitetyt keinot päästään enimmillään n. 70 000 t CO₂-ekv/a päästövähennyspotentiaaliin. Tässä potentiaalissa ei ole huomioitu mädätteen kompostoinnista syntyviä haihduntapäästöjä. Tällä hetkellä tuotettavan biokaasun hyödyntämisestä syntyvä päästövähennys on n. 26 000 t CO₂-ekv/a eli 16 % energiankäytön päästöistä. Näin ollen päästöjä voitaisiin vähentää nykytilanteeseen verrattuna 44 000 t CO₂-ekv/a, mikä vastaa 33 % vähennystä nykyisiin energiankäytöstä seuraaviin päästöihin verrattuna. Verrattuna kokonaispäästöihin, 310 000–400 000 t CO₂-ekv/a, vähennyspotentiaali jäisi 11–14 %. Käytännössä päästövähennyspotentiaalin muodostumiseen liittyy epävarmuuksia ja tulkinnanvaraisuutta esim. sen suhteen, mikä on jätevesilietteen biokaasun tuotannon maksimimäärä ja kuinka paljon lietettä voitaisiin ohjata mädätykseen.

13.6.4 Päästöjen kehitys tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa verkostojen uudistaminen tarjoaa mahdollisuuden tehostaa verkostojen toimintaa ja vähentää tätä kautta päästöjä. Viemäriverkosto laajenee, mikä lisää vesihuoltolaitosten energiankulutusta, mutta toisaalta vähentää tarvetta haja-asutusvesien puhdistamiseen pienpuhdistamoissa. Pienpaineviemäroinnin yleistyminen lisää osaltaan energiankulutusta. Jätevedenpuhdistuksen tiukentuvat puhdistusvaatimukset saattavat nekin lisätä energiankulutusta. Puhdistuksen keskittämisen vaikutusta energiankulutukseen ei vielä ole pystytty arvioimaan.

14 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vesihuoltolaitosten toiminnasta syntyy kasvihuonekaasupäästöjä sekä energiankäytön seurauksena että haihduntapäästöinä jäteveden ja lietteen käsittelystä. Vaikka haihduntapäästöjen määrien arvioimiseen liittyykin vielä epävarmuuksia, niiden merkitys päästöjen aiheuttajana vaikuttaa olevan huomattava.

Vesihuoltolaitosten toiminnasta syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen suuruusluokka on tässä työssä arvioitu 310 000–400 000 t CO₂-ekv/a:n suuruisiksi. Tulos on suuntaa-antava, mikä johtuu etupäässä haihduntapäästöjen määrän arviointiin liittyvästä epävarmuudesta. Kaikkiaan vesihuoltolaitosten toiminnasta aiheutuvien päästöjen kokoluokka on alhainen, määrä vastasi alle 0,5 % kaikista Suomen kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2007. Päästöjen määrä on vähäinen verrattuna esimerkiksi kotitalouksien talousveden lämmittämisestä seuraaviin päästöihin. Vesihuoltolaitosten sähkönkäyttö, n. 500 GWh/a, vastasi tämän selvityksen perusteella n. 0,6 %:a Suomen sähkön loppukäytöstä vuonna 2007. Sähkönkäytön määrä saattaa jonkin verran vaihdella eri vuosina.

Vesihuoltolaitoksilla tuotetaan tällä hetkellä biokaasua 14 yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla. Tästä biokaasusta tuotettu sähkö ja lämpö tuovat nykyisellään laitossektorille enimmillään n. 26 000 t CO₂-ekv/a:n päästöhyödyt. Biokaasun tuotannon lisääminen on keskeinen keino vähentää päästöjä. Energiankäytöstä seuraavia päästöjä voitaisiin vähentää kolmannes mädättämällä yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoilta syntyvä liete ja hyödyntämällä kaasu liikennepolttoaineena tai sähkön- ja lämmöntuotannossa.

Päästöjä voitaisiin vähentää myös hyödyntämällä jäteveden lämpösisältöä. Kaikkiaan Suomen jätevesistä olisi mahdollista ottaa talteen n. 3,5 TWh/a lämpöä, joskin taloudellisesti kannattavan talteenoton potentiaali lienee huomattavasti pienempi. Jätevesilämpöpumppuja voidaan käyttää tuottamaan lämpöä kaukolämpöverkkoon tai korvaamaan laitosten omaa sähkö- tai öljylämmitystä. Keino on merkittävä sikäli, että lämmityssähkön käytön vähentäminen on muuta sähkönkäytön vähentämistä tehokkaampi keino päästöjen vähentämisessä.

Oman energiantuotannon lisäämisen ohella vesihuoltolaitokset voivat pienentää päästöjään vähentämällä sähkön ja lämmön käyttöä. Tällöin edellytyksenä on, että toiminnan laatu säilyy yhtä korkeana kuin aiemminkin, mikä tarkoittaa muutosten toteuttamista ekotehokkaasti. Sähkön ja lämmön käytön vähentämisessä ei ole nimettävissä yhtä yksittäistä kohdetta, jonka toimintaa tehostamalla yksinään saavutettaisiin suuria energiansäästöjä koko laitossektorilla. Merkittäviä säästöjä voidaan kuitenkin saavuttaa tehostamalla pumppausta vesijohto- ja viemäriverkostoissa, parantamalla verkostojen kuntoa, tehostamalla ilmastusta ja huomioimalla verkostojen energiatehokkuus maankäytön suunnittelussa.

Energiankäytön vähentämisen ja oman energiantuotannon lisäämisen vaikutukset laitoksen toiminnasta syntyviin päästöihin riippuvat aina siitä, millä tavalla tuotettua energiaa tällöin korvataan tai minkä energian käyttöä vähennetään.

15 JATKOTUTKIMUSTARPEET

Tutkimuksen perusteella Suomen vesihuoltolaitosten on mahdollista vähentää toiminnasta seuraavia päästöjä. Päästöjen vähentäminen edellyttää kuitenkin aktiivisia toimia sekä energiatehostamisen että energiantuotannon lisäämisen saralla. Merkittävä keino tässä olisi lietteen energiahyödyntämisen lisääminen. Lietteenkäsittelyn eri ketjujen päästövaikutukset tulisi kuitenkin selvittää. Tässä yhteydessä tulisi huomioida paitsi prosessien energiataseet, myös käsittelystä (esimerkiksi mädätteen kompostoinnista) syntyvät haihduntapäästöt. Biokaasutuksessa on tässä yhteydessä syytä huomioida myös rejektivesien käsittelystä koituva energiantarpeen lisääntyminen jätevedenkäsittelyprosessissa.

Mahdollisuudet yhteismädätyksen lisäämiseen kannattaisi selvittää, jotta pieniltäkin laitoksilta tuleva liete saataisiin energiahyötykäyttöön. Samoin tulisi selvittää jäteveden lämpösisällön hyödyntämisen reunaehdot erikokoisilla laitoksilla. Myös matalalämpöisen lietteenkuivatuksen mahdollisuudet Suomessa voisi kartoittaa.

Jätevedenpuhdistuksen ja lietteenkäsittelyn haihduntapäästöjen muodostuminen tulisi selvittää tätä työtä laajemmin ja kartoittaa mahdollisuudet haihduntapäästöjen vähentämiseksi. Jätevedenpuhdistuksesta syntyvien haihduntapäästöjen määrien selvittämiseksi pitäisi suorittaa nykyistä pitempikkestoisia mittauksia ja mitata myös dityppioksidin syntymistä typenpoistoteholtaan erilaisten laitosten jätevedenkäsittelyn yhteydessä. Lisäksi tulisi selvittää erilaisten, käytössä olevien puhdistusratkaisujen vaikutus energiankulutukseen ja haihduntapäästöjen suuruuteen. Haja-asutuksen jätevesien käsittely on merkittävä haihduntapäästöjen aiheuttaja ja tulevaisuudessa myös merkittävä energiankuluttaja. Siksi myös haja-asutuksen jätevesihuollosta koituvien päästöjen vähentämismahdollisuudet tulisi selvittää.

Jätevedenpuhdistuksen keskittämisen vaikutukset energiantarpeeseen ja sitä kautta kasvihuonekaasupäästöihin tulisi kartoittaa ja selvittää, kumpi on päästöjen kannalta edullisempaa, paikallinen vai keskitetty puhdistaminen.

Energiatehokkaimpien prosessiratkaisujen löytämiseksi olisi hyvä saada kattavasti energiatietoja erityyppisillä vesilaitoksilla ja jätevedenpuhdistamoilla, jotta saataisiin luotettavaa ja täysin vertailukelpoista aineistoa erikokoisten laitosten energiankäytöstä ja sen jakautumisesta yksikköprosessien kesken. Tällöin olisi mahdollista hahmottaa myös esimerkiksi laitosten todellinen lämmöntarve. Tarkastelussa tulisi kartoittaa sekä erilaiset tekniikat (jätevedenpuhdistuksessa esimerkiksi aktiivilietelaitos, biosuodin, bioroottori) että erilaiset laitokohtaiset ratkaisut. Laitosten kokemuksia energiakartoituksista olisi hyvä selvittää, mitä toimenpiteitä on ehdotettu, mitä toteutettu ja millaisia energiasäästöjä näillä on saavutettu.

LÄHDELUETTELO

Kirjalliset lähteet:

Barton, P.K. & Atwater, J.W. 2002. Nitrous Oxide Emissions and the Anthropogenic Nitrogen in Wastewater and Solid Waste. *Journal of Environmental Engineering*. Vol. 128, No. 2. S. 137-150.

DANVA 2006. Handbook of Energy Conservation. Julkaisematon aineisto.

Davis, F. & Higson, S.P.J. 2007. Biofuel cells - Recent advances and applications. *Biosensors and Bioelectronics*. Vol. 22. S. 1224-1235.

EG&G Technical Services 2004. Fuel Cell Handbook. Morgantown: U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy. 427 s.

EEA (European Environmental Agency) 2008. *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2008: Tracking progress into Kyoto targets: Executive summary*. Copenhagen: European Environmental Agency.

Fiter, M., Güell, D., Comas, J., Colprim, J., Poch, M. & Rodriguez-Roda, I. 2005. Energy Saving in a Wastewater Treatment Process: an Application of Fuzzy Logic Control. *Environmental Technology*. Vol. 26. S. 1263-1270.

Fred, T., Heinonen, M., Sundell, L. & Toivikko, S. 2008. E-PRTR reporting of air emissions at urban waste water treatment plants - case Viikinmäki WWTP. IWA World Water Congress and Exhibition, Vienna 2008, Conference proceedings for full papers.

Haapalainen, A. 1998. Jätevesien käsittely bioroottorilla. Oulu: Oulun yliopisto. Diplomityö.

Haberkern, B., Maier, W.D. & Schneider, U. 2006. Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Dessau-Roslau: Umweltbundesamt. Forschungsbericht 205 26 307 UBA-FB 001075. 222 s.

Hammer, M.J. & Hammer, M.J.J. 1996. *Water and Wastewater Technology*. 3. painos. New Jersey, USA: Prentice-Hall. S. 259.

Heinonen, M. 2001. Kriittiset parametrit ilmastuksen energiataloudessa. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.

Heljo, J. & Laine, H. 2005. Sähkölämmitys ja lämpöpumput sähkökäyttäjinä ja päästöjen aiheuttajina Suomessa. Näkökulma ja malli sähkökäytön aiheuttamien CO₂-ekv päästöjen arviointia varten. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakentamistalouden laitos. Raportti 2005:2. 60 s.

Hirayama, T., Hiraide, R., Miyamoto, E. & Yamanaka, D. 2008. Greenhouse Gas Emission Control at Wastewater Treatment Plants. Realization of an Environmentally Sound Society. <http://www.nilim.go.jp/english/report/annual/annual2008/45.pdf>.

Iivari, P. 2006. Otsonoinnin kehittäminen Oulun Veden vedenpuhdistamoilla. Oulu: Oulun yliopisto. Diplomityö.

IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5. Waste.

IPCC 2007a. Climate Change 2007 Working Group I Report "The Physical Science Basis". Geneve, Sveitsi: IPCC. 940 s.

IPCC 2007b. Climate Change 2007 Working Group III Report "Mitigation of Climate Change". Geneve, Sveitsi: IPCC. S. 593–598.

IPCC 2007c. Climate Change 2007 Synthesis Report. Geneve, Sveitsi: IPCC. S. 30–45.

Kangas, A. 2002. Helsingin Veden jätevesilietteen käsittelyn ja loppusijoituksen mahdollisuudet. Helsinki: Helsingin Vesi. 158 s.

Kangas, A. 2003. Julkaisematon aineisto.

Kangas, A. 2004. Jätevedenpuhdistamoiden toiminta ja toteutukset. Helsinki: Vesi- ja viemärilaitosyhdistys. Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen monistesarja Nro 15.

Keskitalo, P. & Kettunen, R. 2001. Nanosuodatus ja käänteisosmoosi pohjaveden epäorgaanisten aineiden poistamisessa. Vesitalous, No. 5.

Kimochi, Y., Inamori, Y., Mizuochi, M., Xu, K. & Matsumura, M. 1998. Nitrogen removal and N₂O emission in a full-scale domestic wastewater treatment plant with intermittent aeration. J. Ferment. Bioeng., 86(2), S. 202–206.

Kjellen, B.J. & Andersson, A. 2002. Energihandbok för avloppsreningsverk. Stockholm: VA-Forsk Svenskt Vatten. 82 s.

Koljonen, T. & Sipilä, K. 1998. *Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä*. VTT tiedotteita 1926. Espoo: VTT. 55 s.

Koskinen, V. 2008. Energiaa säästävä uusi viemäriverden pumppausteknologia. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Kuittinen, V., Huttunen, M.J. & Leinonen, S. 2006. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 10 Tiedot vuodelta 2006. Joensuun yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutin raportteja N:o 3. Joensuun yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutti. 74 s.

Lana, A., Manninen, H.-., Nerg, J., Kaikko, J., Pyrhönen, J., Anttila, J., Malinen, J., Kakko, K., Horttanainen, M., Luoranan, M., Pasila-Lehtinen, M., Bergman, R. & Lindh, T. 2008. Hajautetun energiantuotannon modulaarinen yhdyskunnan sivuainevirtoja hyödyntävä chp-laitos. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 118 s.

Lapinlampi, T. & Raassina, S. (toim.) 2002. Vesihuoltolaitokset 1998 - 2000. Vesilaitokset. Suomen ympäristö 541, luonto ja luonnonvarat. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 480 s.

- Lapinlampi, T. & Raassina, S. (toim.) 2002. Vesihuoltolaitokset 1998 - 2000. Viemärilaitokset. Suomen ympäristö 542, ympäristönsuojelu. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 288 s.
- Latvala, M. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24/2009. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 114 s.
- Lehto, T. 2005. Biojätteiden kierrätys ja ravinteiden virrat paikallisessa ruokajärjestelmässä. Etelä-Savon ympäristökeskuksen moniste 64. Mikkeli.
- Liikanen, R. 2007. Kalvosuodatustekniikat - vaihtoehtoja veden- ja jätevedenkäsittelyyn. Vesitalous, No. 3. S. 7-10.
- Lingsten, A. & Lundkvist, M. 2008. Nulägesbeskrivning av VA-verkens energianvändning. Svenskt Vatten Utveckling. 36 s.
- Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT tiedotteita 2081. Espoo: VTT. 146 s.
- Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H. & Tenhunen, J. 2006. Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2006. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 72 s.
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008a. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. Suomen ympäristökeskus. 82 s. Julkaisu saatavana ainoastaan verkkojulkaisuna:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=92262>
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Isoaho, S., Zevenhoven, M., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008b. Jätteen kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset - jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. Suomen ympäristö 39/2008. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 119 s.
- Müller, E.A., Kobel, B., Künti, T., Pinnekamp, J., Seibert-Erling, G. & Böcker, K. 1999. Energie in Kläranlagen Handbuch. 21. ed. Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. 369 s.
- NORVAR 2007. Forsprosjekt energinettverk i VA-sektoren. NORVAR-rapporter B8/2007. Oslo: NORVAR. 23 s.
- Oinonen, T. & Soimakallio, S. 2001. HFC- ja PFC-yhdisteiden SF₆:n päästöjen tekniset vähentämiskeinot ja niiden kustannukset Suomessa. VTT tiedotteita 2099. Espoo: VTT. 154 s.
- Olsson, G. 2008. Effektivare reningsverk. Några steg mot bättre energi- och resursutnyttjande. Rapport Nr 2008-19. Svenskt Vatten. 56 s.

Pietiläinen, O.-P.(toim.), Antikainen, R., Holmberg, M., Kauppila, J., Kauppila, P., Ketola, T., Korpinen, P., Lepistö, A., Lepistö, L., Pitkänen, H., Rantanen, P., Rekolainen, S., Pipatti, R., Hänninen, K., Vesterinen, R., Wihersaari, M. & Savolainen, I. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. VTT julkaisuja 811. Espoo: VTT. 85 s.

Pöyry Environment 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys. Sitra. 52 s.

Racoviceanu, A.I., Karney, B.W., Kennedy, C.A. & Colombo, A.F. 2007. Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment Systems. Journal of Infrastructure Systems. Vol. 13, No. 4. S. 261.

Ranne, A. 2001. Multi Supply Plant Sähkö ja kylmä. VTT tiedotteita 2097. Espoo: VTT. 114 s.

RIL 2003. Vesihuolto I. RIL 124-1-2003. s.33.

RIL 2004. Vesihuolto II. RIL 124-2-2004. s. 31, 97–102, 249–258, 298–299.

Rulkens, W. 2008. Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options. Energy & Fuels. Vol. 22, No. 1. S. 9-15.

Räike, A., Santala, E., Similä, J., Tamminen, T. & Vuorenmaa, J. 2008. Yhdyskuntien typikuormitus ja pintavesien tila. Suomen ympäristö 46/2008. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 71 s.

Schmid, F. 2009. Sewage Water: Interesting Heat Source for Heat Pumps and Chillers. EnergieSchweiz.

Schmid, F. 2007. Wärmerückgewinnung aus Abwasser. gwa, No. 6, S. 405-411.

Siekkinen 2008. Julkaisematon aineisto.

Soares, C. 2007. Microturbines: Applications for Distributed Energy Systems. 1. painos. Butterworth Heinemann. 320 s.

Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H. & Paappanen, T. 2009. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and generation in Finland - Dealing with the uncertainties. Energy Policy. Vol. 37. S. 80-90.

Sree, U., Bauer, H., Feuerhacker, M., Ellinger, R., Schmidt, H. & Puxbaum, H. 2000. Hydrocarbons Emissions from a Municipal Wastewater Treatment Pilot Plant in Vienna. Water, Air and Soil Pollution. Vol. 124. S. 177-186.

Svenskt Vatten 2007. VA-verkens bidrag till Sveriges energieffektivisering. Svenskt Vatten 2007.

Tenhunen, J., Oinonen, J. & Seppälä, J. 2000. Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Suomen ympäristö 434. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 107 s.

Thöle, D., Utecht, K.U. & Schmitt, F. 2004. Praktische erfahrungen mit der Umsetzung von Energiesparmassnahmen auf Kläranlagen. KA Abwasser Abfall. Vol. 51, No. 6. S. 619-624.

Thöle, D., Schmitt, F., Grünebaum, T. & Evers, P. 2008. Themenschwerpunkt Energie bei Ruhrverband. KA Abwasser Abfall. Vol. 55, No. 6. S. 651-660.

Tilastokeskus 2008. Ympäristö ja luonnonvarat. Katsauksia 2008/2. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2006. Helsinki: Tilastokeskus. 57 s.

Tilastokeskus 2009. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990-2007 National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Tilastokeskus. S.8, 11, 309-337.

Vartiainen, E., Luoma, P., Hiltunen, J. & Vanhanen, J. 2002. Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt. Helsinki: Gaia Group. 90 s.

Vesanto, P. 2006. Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 27/2006. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 101 s.

Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2003. Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla. Helsinki: Copy-set. 35 s.

Ympäristöministeriö 2006. Finland's Fourth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy. 253 s.

Ympäristöministeriö 2008. Kohti kierrätysyhteiskuntaa: Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Suomen ympäristö 32/2008. Helsinki: Ympäristöministeriö. 54 s.

Internet-lähteet:

DANVA:
Elsparelser I vandsektoren til debat , <http://www.energibesparelser-vand.dk/>,
23.11.2008.

Energiamarkkinavirasto:
Yleistä päästökaupasta,
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/select.asp?gid=172&pgid=172>, 12.3.2009.

Energiatoteellisuus:
Ilmastomuutos <http://www.energia.fi/fi/ymparisto/ilmastonmuutos>, 10.3.2009.

EnergieSchweiz:

Sewage Water: interesting heat source for heat pumps and chillers,

<http://www.bfe.admin.ch/>, 20.4.2009.

Mit Abwasser heizen und kühlen. www.bfe.admin.ch, 20.4.2009.

Heizen und Kühlen mit Abwasser,

http://www.infrastrukturanlagen.ch/dokumente/brosch_web.pdf, 15.4.2009.

Kläranlagen produzieren Energie,

<http://www.bfe.admin.ch/infrastrukturanlagen/01076/01138/index.html?lang=de>,
15.1.2009.

Euroopan komissio:

Climate Action http://ec.europa.eu/environment/climat/climate_action.htm, 23.3.2009.

Falköpingin kunta:

Uppgradering av biogas,

<http://www.falkoping.se/menystartsida/byggaochbo/vattenochavlopp/biogasanlaggning/uppgraderingavbiogas.4.6309f332116671c632180008666.html>, 4.3.2009.

Biogas i tanken,

<http://www.falkoping.se/menystartsida/byggaochbo/vattenochavlopp/biogasanlaggning/uppgraderingavbiogas.4.6309f332116671c632180008666.html>, 4.3.2009.

Gasum:

Tankkausasemat,

http://www.gasum.fi/yrityksille/ammattiliikenne/maakaasuauton_tankkaaminen/Sivut/default.aspx 4.3.2009

Haminan Energia:

Tankkaa maakaasua!

<http://www.haminanenergia.fi/fi/tuotteet/maakaasu/liikenne/maakaasuasema>, 4.3.2009.

HyXo

Wedeco, <http://www.hyxo.fi/fi/tuotteet/g/vedenkaesittelylaitteet/otsonointi>, 13.3.2009.

Ilmasto.org:

www.ilmasto.org 6.10.2008.

Ilmastosopimus:

Kioto pöytäkirja, <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>, 23.3.2009.

Kioto mekanismit, http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/items/1673.php
23.3.2009.

International Energy Agency:

Biogas upgrading and utilisation, [http://www.iea-](http://www.iea-biogas.net/Dokumente/Biogas%20upgrading.pdf)

[biogas.net/Dokumente/Biogas%20upgrading.pdf](http://www.iea-biogas.net/Dokumente/Biogas%20upgrading.pdf), 5.4.2009.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus 12/2007:

Kansallinen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelo,

<http://www.finlex.fi/data/normit/28518-07012fil1.pdf>, 18.6.2009.

Motiva 2004:

Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet, http://www.motiva.fi/files/209/Laskentaohje_CO2_kohde_040622.pdf 1.10.2009.

Oulun Vesi 2009:

Jätevedenpuhdistuksen prosessikaavio,
<http://www.ouka.fi/vesi/prosessikaavio1.htm>, 1.10.2009.

Vedenpuhdistuksen prosessikaavio,
<http://www.ouka.fi/vesi/prosessikaavio.htm>, 1.10.2009.

Shemeikka, Jari; VTT

http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/Shemeikka_BAFF240507.pdf
10.10.2008.

Stirling Biopower:

<http://www.stirlingbiopower.com/STIRLING/BASSE.swf>, 10.12.2008.

Suomen ympäristökeskus:

Päästöt nollaan, <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=294887&lan=FI>,
27.10.08

Talous- ja juomavesi: yhdyskuntien vedenhankinta,
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=560&lan=fi>, 6.5.2009.

Tytenpoistomenetelmät, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6571&lan=fi>,
19.2.2009.

Raakavesilähteet, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6738&lan=fi>, 6.5.2009.

Yhdyskuntien jätevesilietteet,
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=198149&lan=FI>, 20.4.2009.

Orgaanisen aineen kuormitus, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11388&lan=fi>,
3.3.2009.

Typpi kuormitus, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11390&lan=fi>, 3.3.2009.

Svenska Biogasföreningen:

Biogas, http://www.sbgf.info/_filer/BIOGAS_PDF_Sv.pdf, 15.11.2008.

Svenskt Vatten:

Projektplan etapp 3, <http://www.svensktvatten.se/web/energi.aspx>, 20.10.08.

Energiprojektet, <http://www.svensktvatten.se/web/energi.aspx>, 20.10.08.

Sänkiäho, L. & Toivikko, S. 2005:

VVY:n jäsenlaitoksille suoritetun lietekyselyn tulokset.

<http://www.vvy.fi/files/101/lietekysely.pdf>.

Tilastokeskus:

Kasvihuonekaasut, http://www.stat.fi/til/khki/2006/khki_2006_2008-04-18_laa_001_fi.html 11.10.2008.

Polttoaineluokitus 2006,
http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.xls, 5.3.2009.

US EPA:

Wastewater management fact sheet: Energy Conservation, http://www.epa.gov/OW-OWM.html/mtb/energycon_fasht_final.pdf, 17.10.2008.

Ympäristöministeriö:

YK:n ilmastopöytäkirja, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=14349&lan=fi>, 6.10.2008.

EU:n ilmasto- ja energiapaketti,

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22013&lan=fi> 6.5.2009.

Euroopan Unionin päästökauppa, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=65017>, 3.3.2009.

Lentoliikenne mukaan EU:n päästökauppaan vuonna 2012,

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=260961&lan=FI>, 3.3.2009.

Vesi- ja viemäri- ja jätehuolto:

Turun Seudun Veden tekopohjavesihanke,

http://www.vvy.fi/files/292/valtonen_jyrki.pdf, 27.7.2009.

Tiedonannot:

Kirsi-Marja Aalto, Tilastokeskus, sähköpostiviesti 2.3.2009.

Elina Antila, Sarlin, haastattelu 1.4.2009.

Seppo Autere, Helsingin Vesi, haastattelu 4.2.2009.

Mari Heinonen, Helsingin Vesi, sähköpostiviesti 17.3.2009.

Heli Härkki, Helsingin Vesi, sähköpostiviesti 3.4.2009.

Tommi Kaartinen, VTT, haastattelu 12.3.2009.

Ari Kangas, Suomen ympäristökeskus, haastattelu 24.2.2009.

Leo Lavikainen, Joensuun Vesi, haastattelu 7.4.2009.

Timo Leppänen, Kymenlaakson Vesi, tiedonanto 21.3.2009.

Jaakko Levälampi, haastattelu 8.12.2008.

Christian Mauer, Pöyry, esitelmä 13.2.2009.

Hannu Partanen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, haastattelu 17.2.2009.

Riitta Pipatti, Tilastokeskus, haastattelu 11.2.2008.

Marko Riipinen, Helsingin Energia, haastattelu 26.2.2009.

Hannu Roikola, Kempeleen Vesi- ja viemäri- ja jätehuolto, sähköpostiviesti 7.4.2009.

Jorma Räsänen, Grundfos, haastattelu 23.3.2009.

Paavo Salmela, Pudasjärven Vesi, sähköpostiviesti 10.6.2009.

Tapani Sulin, Hämeenlinnan Seudun Vesi, haastattelu 5.3.2009.

Jari Shemeikka, VTT, haastattelu 17.4.2009.

Ilkka Syrjälä, Turku Energia, haastattelu 4.3.2009.

LIITTEET

Jätevedenpuhdistamoiden ja viemäriverkoston sähkönkulutus:	
Kyselyyn vastanneiden, suurten (yli 10 miljoonaa m ³ vettä käsittelevien) jätevedenpuhdistamoiden + verkoston sähkönkulutus	58 518 234
Suurten (yli 10 miljoonaa m ³ vettä käsittelevien) laitosten vesimäärä, m ³ /a (v. 2007)	217 042 835
Suurten laitosten vesimäärien osuus kaikkien vastaavan kokoisten laitosten vesistä Suomessa	65 %
Suurten laitosten sähkönkulutus koko maan tasolla	90 356 514
Kyselyyn vastanneiden, alle 10 miljoonaa m ³ käsittelevien laitosten+ verkoston sähkönkulutus	18 405 978
Alle 10 miljoonaa m ³ laitosten vesimäärä, m ³ /a (v. 2007)	281 198 402
Näiden laitosten vesimäärien osuus kaikkien vastaavan kokoisten laitosten vesistä Suomessa	10 %
Näiden laitosten sähkönkulutus koko maan tasolla	178 809 487
Suomen jätevedenpuhdistamot ja viemäriverkosto yhteensä	269 166 001

Vesilaitosten sähkönkulutus:					
Laitoskoko	Vesilaitosten sähkönkulutus	Tuotettu vesimäärä	Kokoluokan osuus koko maan jätevesistä (painokerroin)	Tuotettu talousvesi Suomessa (2006)	Sähkönkulutus koko maan tasolla
	kWh/a	m3/a		m3/a	kWh/a
Yli 10 miljoonaa m3/a vettä tuottavat laitokset	40 052 558	104 984 000	0,424	482 570 129	78 048 619
Alle 10 miljoonaa m3/a vettä tuottavat laitokset	6 407 116	12 979 084	0,576	482 570 129	137 230 823
Yhteensä					215 279 442
Vesijohtoverkoston sähkönkulutus:					
Laitoskoko	Vesijohtoverkoston sähkönkulutus	Vesijohtoverkostossa kulkeva vesimäärä	Kokoluokan osuus koko maan jätevesistä (painokerroin)	Tuotettu talousvesi Suomessa (2006)	Sähkönkulutus koko maan tasolla
	kWh/a	m3/a		m3/a	kWh/a
Yli 10 miljoonaa m3/a vettä tuottavat laitokset	2 016 500	105 295 072	0,424	482 570 129	3 917 854
Alle 10 miljoonaa m3/a vettä tuottavat laitokset	1 035 693	17 244 384	0,576	482 570 129	16 696 155
Yhteensä					20 614 010
Vesilaitokset ja vesijohtoverkosto yhteensä					235 893 451

Lämmönkulutus:		Jätevedenpuhdistamoiden lämmönkulutus		Osuus maan jätevesistä /painokerroin	Suomessa käsitelty jätevesi (2007)	koko maassa
Jätevedenpuhdistamot ja viemäriverkosto:		kWh	vesimäärä, m3		m3/a	yhteensä, kWh
Yli 10 miljoonaa m3/a jätevettä käsittelevät laitokset		39 876 000	140 565 000	0,436	498 241 237	61 571 516
Alle 10 miljoonaa m3/a jätevettä käsittelevät laitokset		4 065 814	28 945 509	0,564	498 241 237	39 498 369
Yleistyksen tulos: Jätevedenpuhdistamoiden lämmönkulutus, kWh/a						101 069 885
Talousvesilaitosten lämmönkulutus				Osuus Suomessa valmistetusta vedestä	Suomessa tuotettu talousvesi (2006)	koko maassa
Vesilaitokset ja vesijohtoverkosto:		kWh	vesimäärä, m3		m3/a	yhteensä, kWh
Yli 10 miljoonaa m3/a vettä tuottavat laitokset		11 292 000	104 984 000	0,423933411	482 570 129	22 004 213
Alle 10 miljoonaa m3/a vettä tuottavat laitokset		595 683	12 979 084	0,576066589	482 570 129	12 758 631
Yleistyksen tulos: Talousvesilaitosten lämmönkulutus, kWh/a						34 762 843
Vesihuoltolaitokset yhteensä:						135 832 728

Laitoskyselyn vastaukset: Vesilaitokset

Laitoksen nro	3. Vesilaitoksen käyttämä raakavesi on	4. Vedenkäsittely sisältää seuraavat käsittelyprosessit	5. Vesijohtoverkoston pumpattu vesimäärä vuonna 2007, oma tuotanto	6. Muualta ostettu vesimäärä vuonna 2007
	-	-	1000 m3 vuodessa	1000 m3 vuodessa
1	pohjavettä, %	UV-desinfiointi, alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla	105	
2	pohjavettä, %	alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla	164	
3	pohjavettä, %	UV-desinfiointi, alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla	732	143
4	pintavettä, %	saostus, selkeytys, flotaatio, aktiivihiihtisuodatus, hiekkasuodatus, UV-desinfiointi, alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla, klooraus natriumhypokloriitilla, muu käsittely, mikä?	1 373	0
5	pohjavettä, %	UV-desinfiointi, ilmastus, kalkkikivisuodatus, alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla	2 721	
6				
7	pohjavettä, %, tekopohjavettä, %	alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla	3 300	0
8	pohjavettä, %, tekopohjavettä, %	UV-desinfiointi, ilmastus, alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla	4 689	11,30
9	pohjavettä, %, pintavettä, %	selkeytys, flotaatio, aktiivihiihtisuodatus, hiekkasuodatus, UV-desinfiointi, otsonointi	10 058	0
10	pintavettä, %	saostus, flotaatio, aktiivihiihtisuodatus, hiekkasuodatus, alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla	13 566	
11	pintavettä, %	saostus, selkeytys, aktiivihiihtisuodatus, hiekkasuodatus, UV-desinfiointi, otsonointi, alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla, klooraus natriumhypokloriitilla	81 360	0

Laitoksen nro	9. Laitoksen sähkönkulutus ja sen jakautuminen vuonna 2007						11. Vuonna 2007 vesilaitoksen lämmitystavat ja käytetyn lämmön määrät olivat			
	Laitoksen sähkönkulutus kaikkiaan, kWh vuodessa	Vedenvalmistusprosessin sähkönkulutus, kWh vuodessa	Raakaveden pumppauksen sähkönkulutus, kWh vuodessa	Valmistetun veden pumppauksen sähkönkulutus (pumppaus verkoston alkuun), kWh/	Muu sähkönkulutus, kWh/a	kaukolämpö	sähkölämmitys	öljylämmitys	muu, mikä? tuotetun lämmön määrä (kWh):	
1	0						X			
2	86600									
3	303600									
4	861755	86175,5	45961	517000	212619	297000				
5	1383867							29922		
6										
7	1875000							30000 litraa		
8	1896294									
9	6000000	3700000		2300000	0	2200000				
10	7646558					1354				
11	26406000	14251000	0	12155000	0	5681000	0	0	1818000	

Laitoskyselyn vastaukset: Jätevedenpuhdistamot

Laitoksen numero	3. Jätevedenpuhdistamon kokoluokka ja kuormitus vuonna 2007				4. Jätevedenpuhdistamon
	Käsiteltävän jäteveden määrä vuodessa, 1000 m3	Asukasvastineluku (AVL)	Teollisuusjätevesien osuus virtaamasta, %	Teollisuusjätevesien osuus BOD-kuormituksesta, %	
1	148	1600	0,0	0	katettu
2	210	3800			katettu
3	1 016	14000	5,6	5,60	osittain katettu
4	2 000	20000	8,0	18	katettu
5	4 839	67000	15,0	55	osittain katettu
6	6 700	78600	5,0	5	kattamaton
7	6 833	100000	9,0	40	kattamaton
8	7 200	60000	25,0	35	kattamaton
9	14 300	150000			osittain katettu
10	22 815	200000	10,0		kattamaton
11	103 450	800000	15,0	19	kallion sisällä

Laitoksen numero	5. Mitä seuraavista käsittelyprosesseista jätevedenpuhdistus sisältää?	
1	Hiekanerotus, Välppäys, Esiselkeytys, Ilmastus, Jälkiselkeytys	
2	Hiekanerotus, Välppäys, Ilmastus, Jälkiselkeytys	
3	Hiekanerotus, Välppäys, Esiselkeytys, Ilmastus, Jälkiselkeytys	
4	Hiekanerotus, Esiselkeytys, Muu, mikä?	Biologinen suodatus
5	Hiekanerotus, Välppäys, Esiselkeytys, Ilmastus, Jälkiselkeytys	
6	Hiekanerotus, Välppäys, Ilmastus, Jälkiselkeytys, Flotaatio	
7	Hiekanerotus, Välppäys, Esiselkeytys, Ilmastus, Jälkiselkeytys	
8	Hiekanerotus, Välppäys, Esiselkeytys, Ilmastus, Väiselkeytys, Jälkiselkeytys	
9	Hiekanerotus, Välppäys, Esiselkeytys, Esi-ilmastus, Ilmastus, Väiselkeytys, Jälkiselkeytys, Muu, mikä?	kyseessä aktiivilietelaitos, johon valmistui typenpoistolaajennus vuonna 2008.
10	Tasausallas, Hiekanerotus, Välppäys, Esiselkeytys, Ilmastus, Jälkiselkeytys	
11	Hiekanerotus, Välppäys, Esiselkeytys, Ilmastus, Jälkiselkeytys, Suodatus	

Laitoksen numero	6. Laitokselle tulevan jäteveden pitoisuudet vuonna 2007				7. Puhdistetun jäteveden pitoisuudet vuonna 2007			
	BOD, mg/l	Kokonaistyyppi, mg/l	Fosfori, mg/l	BOD, mg/l	Kokonaistyyppi, mg/l	Ammoniumtyyppi, mg/l	Fosfori, mg/l	
1				9,80	43,10	24,70	0,36	
2	438	107	59,60	3,50	13,80		0,74	
3	226	41	9,10	3,10	16	1,20	0,19	
4	300	46	7,70	16	20	13	0,26	
5	350	50	8,30	4,40	14	0,58	0,29	
6	209	49	7,70	9,60	30	15	0,46	
7	294	61	12	7,80	21	9,50	0,42	
8	285	50	10	3,90	37,80	1,34	0,33	
9	182	58	8,50	5,40	44		0,20	
10	230	-	8,10	3,60	-	0,8	0,23	
11	231	43	6,47	7,00	4,80	1,70	0,19	

Laitoksen numero	8. Fosforia poistetaan laitoksella	10. Jätevedenpuhdistamo kulutti vuonna 2007 sähköä kaikkiaan kWh vuodessa
1	rinnakkaissaostuksella	279720
2	rinnakkaissaostuksella	279000
3	rinnakkaissaostuksella	441374
4	Muulla tavoin, miten?	847351
5	rinnakkaissaostuksella	2489000
6	rinnakkaissaostuksella	2639547
		kemiallisella esisaostuksella ja ferron syöttö ilmastuksen jälkipäähän rinnakkaisaostuksen tapaan
7	Muulla tavoin, miten?	2620221
8	rinnakkaissaostuksella	3 738 604
9	rinnakkaissaostuksella	4 610 000
10	rinnakkaissaostuksella	8 034 600
11	rinnakkaissaostuksella	38 300 000

Laitoksen numero	12. Jos mahdollista, niin tässä kohdassa eritellään jätevedenpuhdistamon sähkönkulutusta tarkemmin. Seuraavaan kysymykseen on varattu tilaa sähkönkulutuksen esittämiseksi eri tavalla jaoteltuna, jos ei sitä ole mahdollista esittää tässä muodossa.					
	Tulopumppaus	Jätevedenpuhdistus (prosessi + tulopumppaus)	Ilmastus	Lietteenkäsittely	Mädätys	Muu sähkö (valaistus ym.)
1					0	
2					0	
3					0	
4					0	
5					0	
6	250000	1900000		500000	0	
7					0	
8	0	2 918 000	1 150 000	820 000	200 000	
9					0	
10	830000		3400000	230000	386000	
11	7836066	23712357	11680218	3608286	1424381	11161731

Laitoksen numero	15. Sähköntuotanto		
1	Laitoksella ei ole omaa sähköntuotantoa		0
2	Laitoksella ei ole omaa sähköntuotantoa		0
3	Laitoksella ei ole omaa sähköntuotantoa		0
4	0		0
5	Laitoksella on omaa sähköntuotantoa, määrä kWh vuodessa		385 000
6	Laitoksella ei ole omaa sähköntuotantoa		0
7	Laitoksella ei ole omaa sähköntuotantoa		0
8	Laitoksella ei ole omaa sähköntuotantoa		0
9	Laitoksella ei ole omaa sähköntuotantoa		0
10	Laitoksella on omaa sähköntuotantoa, määrä kWh vuodessa		2 600 000
11	Laitoksella on omaa sähköntuotantoa, määrä kWh vuodessa		19 500 000

17. Jätevedenpuhdistamon käyttämä lämpö kaikkiaan vuonna 2007	18. Lämmönkulutuksen jakautuminen		19. Lämmön ostaminen
kwh vuodessa	Mädättämön lämmitys, kWh vuodessa	Muu lämmitys, kWh vuodessa	Ostetun lämmön määrä, kWh vuodessa
	0		Ostetun lämmön hinta, snt/kWh
0	0		
0	0		
0	0		
494620	0		494620
0	0		4
1435000	0	1435000	
439194	0		
1 697 000	1 360 000	337 000	ei
2 460 000	0		2460000
4 516 000	0		1524000
32 900 000	19 400 000		-
			-

Laitoksen numero	17. Jätevedenpuhdistamon käyttämä lämpö kaikkiaan vuonna 2007 kwh vuodessa	18. Lämmönkulutuksen jakautuminen		19. Lämmön ostaminen
		Mädättämön lämmitys, kWh vuodessa	Muu lämmitys, kWh vuodessa	
1	0	0		
2	0	0		
3	0	0		
4	494620	0		494620
5	0	0		
6	1435000	0	1435000	1435000
7	439194	0		
8	1 697 000	1 360 000	337 000	
9	2 460 000	0		2460000
10	4 516 000	0		1524000
11	32 900 000	19 400 000		

Laitoksen numero	20. Eri lämmitysmenetelmät ja niiden avulla tuotetun lämmön määrät	21. Biokaasun hyödyntäminen lämpönä	22. Lämmön talteenotto: Laitoksella otetaan lämpöä talteen seuraavista kohteista, kWh vuodessa
		Paljonko laitoksella tuotetaan omasta biokaasusta lämpöä? kWh vuodessa	
1	Sähkölämmitys, kWh vuodessa	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	Kaukolämpö, kWh vuodessa	0	0
5	Maakaasukattila, kWh vuodessa	0	0
6	Kaukolämpö, kWh vuodessa	0	0
7	Kaukolämpö, kWh vuodessa	0	0
8	Biokaasukattila, kWh vuodessa	2 480 000	0
9	0	0	0
10	Kaukolämpö, kWh vuodessa	0	0
11	Biokaasukattila, kWh vuodessa	35100000	Puhdistettu jätevesi, Mädate

Laitoksen numero	24. Laitokselta syntyvä liete		25. Mitkä seuraavista lietteenkäsittely-yksiköistä ovat käytössä laitoksella?	26. Miten laitokselta lähtevä liete jatkokäsitellään?
	Määrä, m³ vuodessa	Kuiva-ainepitoisuus, %		
1	967	20	Linko	kompostoidaan, menee kaatopaikalle; osuus kaikesta lietteestä, %:
2	200	24	Sakeutus, Linko	käsitellään muuten, miten? Kompostointilaitos vastaanottaa kuivatun lietteen.
3	2559	24	Linko	kompostoidaan
4	4800	15	Sakeutus, Ruuvipuristin	kompostoidaan
5	4900	26	Sakeutus, Määtys, Linko	kompostoidaan
6	13237	17	Sakeutus, Linko	mädätetään
7	9970	22,40	Sakeutus, Linko	kompostoidaan
8	6559	30	Sakeutus, Määtys, Linko	kompostoidaan
9	30000	22	Linko	kompostoidaan, käsitellään muuten, miten? kemiallinen Kemicond-käsittely + kompostointi. Lietettä saadaan käyttöön myös peltoviljelyyn
10	19279	31	Sakeutus, Määtys, Linko	kompostoidaan, mädätetään, menee kaatopaikalle; osuus kaikesta lietteestä, %:
11	60500	30	Määtys, Linko	kompostoidaan

Laitoksen numero	27. Kuinka kauas liete kuljetetaan laitokselta jatkokäsittelyyn? Etäisyys, km
1	7
2	60
3	10
4	6
5	-
6	12,50
7	16
8	0.2
9	0
10	40
11	40

Laitoskyselyn vastaukset: Vesijohtoverkosto

Laitoksen nro	3. Vesijohtoverkoston pituus km	4. Paineenkorotusasemat ja taajuusmuuttajat			5. Lisätietoja
		Paineenkorotusasemien määrä koko verkostossa, kpl	Yli 20 kW:n pumppukokonaisuuksia (moottoreita) sisältävien paineenkorotusasemien määrä, kpl	Kuinka monella edellisen kohdan (yli 20 kW:n asemat) paineenkorotusasemilla on käytössä taajuusmuuttaja, kpl	-
1	17	4		4	
2	38	1			
3	137	3	0	0	
4	782	4	-		Kaikissa PK asemissa on taajuusmuuttajaohjattu pumppu/pumput
5	216	6	-	-	
6	563	2		7	Vedenpumppaus tapahtuu kahden syöttöpisten kautta yhteen vedenjakelun painepiiriin. Molemmissa paineenkorotusasemissa on taajuusmuuttajaohjattu pumppaus.
7	366	0	0	0	Ainoastaan yksi paineenalennusasema, ei paineenkorotusta.
8	815	17			
9	674	0	0	0	Alue on tasaista ja vedenpuhdistamoiden lähtöpainetaso riittää jakelualueella. Vesitornit osaltaan tasaavat painetta.
10	747	10	2	2	
11	1175	4	3	3	

Laitoksen nro	6. Verkostossa olevat vesitornit ja alavesisäiliöt			7. Verkoston kuluttama sähkö vuonna 2007
	vesitornien määrä, kpl	vesitornien painetasot, mvp (metriä vesipatsasta)	alavesisäiliöiden määrä verkostossa, kpl	kWh
1	1	36		0
2	2			0
3	1	129,60	0	35000
4	1	57	2	118000
5	1			108160
6	1		2	560000
7	1	maanpinnasta 40 m	1	85600
8	1			163933
9	2	45-48	0	680000
10	6	153, 174, 200		928500
11	5	68,5 , 71,0 ja 88,5	0	408000

Laitoksen nro	8. Verkkoston sähkönkulutuksesta pumppausasemien lämmitykseen kuluva osuus on noin %	9. Osuus perustuu
		-
1	15	arvioon
2		0
3	2	arvioon
4	10	arvioon
5	0,50	arvioon
6	3	arvioon
7		0
8	2,5	arvioon
9	0	tietoon
10	5	arvioon
11	5	arvioon

Laitoskyselyn vastaukset: Viemäriverkosto

Laitoksen nro	3. Viemäriverkoston pituus (jätevesiverkosto)	4. Viemäriverkoston kuluttama sähkö vuonna 2007	5. Kaikesta pumppaamojen sähkökulutuksesta pumppaamojen lämmittämiseen kuluva osuus on noin	6. Edellinen prosenttiosuus perustuu
	km	kWh/a	%	
1	27	0	10	Arvioon
2	29	26100	10	Arvioon
3	130	125489	2	Arvioon
4		0		
5	180	291572	10	Arvioon
6	315	1800000	2	Arvioon
7	287	0	2	Arvioon
8	688	2 828 000	2	Arvioon
9	581	1030000	5	Arvioon
10	664	983000	1	Arvioon
11	1868	5560634	2	Arvioon

Laitoksen nro	7. Pumppaamot ja taajuusmuuttajat			Kuinka monella edellisen kohdan (yli 20 kW pumppaamot) pumppaamoista on käytössä taajuusmuuttaja
	Pumppaamojen määrä koko verkostossa	Yli 20 kW:n pumppukokonaisuuksia (moottoreita) sisältävien pumppaamojen määrä		
1	10		0	
2	5			
3	53	0	0	
4				
5	21	1	1	
6	70	12	6	
7	80	9	4	
8	230	35	30	
9	140	3	1	
10	74	10	10	
11	118	17	0	

Talousvesilaitosten energiankäyttö

Tämän kyselyn avulla pyritään selvittämään talousvettä valmistavien laitosten energiankäyttöä ja sen tehokkuutta. Kaikki tämän kyselyn kysymykset koskevat pelkästään puhdasvesilaitoksia. Vesijohtoverkoston energiankäyttö ja kaikki jäteveeten liittyvät asiat on rajattu kyselyn ulkopuolelle.

Kyselyn lopussa on Lisätietoja -kohta omia vastauksia varten. Tilaa voi hyödyntää esim. silloin, jos kysyttyjä tietoja ei ole mahdollista esittää kysytyssä muodossa tai laitoksella ei ole kysyttyjä tietoja.

Tiedoiksi toivotaan vuoden 2007 toteutuneita tietoja. Jos tiedot ovat joltain muulta vuodelta, se pyydetään merkitsemään lisätietoihin.

1) Vastaajan tiedot

Vastaajan nimi

Vastaajan puhelinnumero

2) Vesilaitoksen nimi

Jos vastauksissa kerrotaan kootusti useamman vesilaitoksen tiedot, kirjoitetaan tähän kohtaan niiden kaikkien nimet.

Laitoksen perustiedot

3) Vesilaitoksen käyttämä raakavesi on

Jos käytössä on useita eri raakavesilähteitä, annetaan myös niiden osuudet prosentteina, %.

☐ pohjavettä, %

☐ pintavettä, %

☐ tekopohjavettä, %

4) Vedenkäsittely sisältää seuraavat käsittelyprosessit

☐ saostus

☐ selkeytys

☐ flotaatio

☐ aktiivihiiliisuodatus

☐ hiekkasuodatus

☐ UV-desinfiointi

☐ otsonointi

☐ ilmastus

☐ kalkkikivisuodatus

☐ kalvosuodatus

☐ kontaktisuodatus

☐ alkalointi lipeällä, kalkilla tai soodalla

☐ klooraus
natriumhypokloriitilla

☐ muu käsittely, mikä?

5) Vesijohtoverkoston pumpattu vesimäärä vuonna 2007, oma tuotanto

1000 m³ vuodessa

6) Muualta ostettu vesimäärä vuonna 2007

1000 m³ vuodessa

7) Pohjavedenottamoiden lukumäärä

kpl

8) Pintavettä tai tekopohjavettä raakavetenä käyttävien laitosten lukumäärä

kpl

Sähkönkulutus

9) Laitoksen sähkönkulutus ja sen jakautuminen vuonna 2007

Laitoksen sähkönkulutukseen lasketaan kuuluvaksi vedenvalmistusprosessi, raakaveden pumppaus, veden pumppaus laitokselta verkoston alkuun ja muu sähkönkulutus (esim. valaistus ja automaatio). Verkoston sähkönkulutusta ei lasketa tähän!

Laitoksen sähkönkulutus kaikkiaan, kWh vuodessa

Vedenvalmistusprosessin sähkönkulutus, kWh vuodessa

Raakaveden pumppauksen sähkönkulutus, kWh vuodessa

Valmistetun veden pumppauksen sähkönkulutus (pumppaus verkoston alkuun), kWh vuodessa

10) Jos laitoksella on käytössä jokin muu sähkönkulutuksen jaottelu, sen voi kirjoittaa tähän:

Sähkönkulutukset kWh vuodessa

Lämmönkäyttö

11) Vuonna 2007 vesilaitoksen lämmitystavat ja käytetyn lämmön määrät olivat

kWh vuodessa

kaukolämpö

sähkölämmitys

öljylämmitys

muu, mikä? tuotetun lämmön määrä:

12) Lisätietoja:

13) Palaute:

Lähetä



Jätevedenpuhdistamoiden energiankäyttö

Tämän kyselyn avulla pyritään selvittämään jätevedenpuhdistamoiden energiankäyttöä ja sen tehokkuutta. Kaikki tämän kyselyn kysymykset koskevat pelkästään jätevesilaitoksia. Viemäriverkoston energiankäyttö on rajattu kyselyn ulkopuolelle.

Kysymysten välissä on Lisätietoja -kohtia omia vastauksia varten. Tilaa voi hyödyntää esim. silloin, jos kysyttyjä tietoja ei ole mahdollista esittää kysytyssä muodossa tai laitoksella ei ole kysyttyjä tietoja.

Tiedoiksi toivotaan vuoden 2007 toteutuneita tietoja. Jos tiedot ovat joltain muulta vuodelta, se pyydetään merkitsemään lisätietoihin.

Perustiedot

1) Vastaajan tiedot

Vastaajan nimi

Vastaajan puhelinnumero

2) Jätevedenpuhdistamon nimi

Jos vastauksissa kerrotaan kootusti useamman jätevedenpuhdistamon tiedot, kirjoitetaan tähän kohtaan kaikkien puhdistamoiden nimet.

3) Jätevedenpuhdistamon kokoluokka ja kuormitus vuonna 2007

Kuormitus ilmaistaan vuosikeskiarvona

Käsiteltävän jäteveden määrä vuodessa, 1000 m³

Asukasvastineluku (AVL)

Teollisuusjätevesien osuus virtaamasta, %

Teollisuusjätevesien osuus BOD-kuormituksesta, %

4) Jätevedenpuhdistamo on

☐ katettu ☐ kattamaton ☐ osittain katettu ☐ kallion sisällä

5) Mitä seuraavista käsittelyprosesseista jätevedenpuhdistus sisältää?

☐ Tasausallas

☐ Hiekanerotus

☐ Välppäys

☐ Esiselkeytys

☐ Esi-ilmastus

☐ Ilmastus

☐ Väliselkeytys

☐ Jälkiselkeytys

☐ Biorotatori

☐ Flotaatio

☐ Hiekkasuodatus jälkikäsittelynä

☐ Suodatus

☐ Muu, mikä?

6) Laitokselle tulevan jäteveden pitoisuudet vuonna 2007

BOD, mg/l

Kokonaistyyppi, mg/l

Fosfori, mg/l

7) Puhdistetun jäteveden pitoisuudet vuonna 2007

BOD, mg/l

Kokonaistyyppi, mg/l

Ammoniumtyppi, mg/l

Fosfori, mg/l

8) Fosforia poistetaan laitoksella

☐ rinnakkaissaostuksella

☐ biologisesti

☐ Muulla tavoin, miten?

9) Lisätietoja:

Seuraava -->



Jätevedenpuhdistamoiden energiankäyttö

Sähkönkulutus ja sähköntuotanto

10) Jätevedenpuhdistamo kulutti vuonna 2007 sähköä kaikkiaan

Jätevedenpuhdistamon sähkönkulutukseen lasketaan kaikki puhdistusprosessin ja lietteenkäsittelyn kuluttama sähkö sekä muu laitoksella tapahtuva sähkönkulutus, esim. valaistus. Puhdistusprosessin sähkönkulutukseen luetaan kuuluvaksi myös tulopumppaus. Tähän kohtaan ei kuitenkaan lasketa verkostossa tapahtuvan pumppauksen sähkönkulutusta!

kWh vuodessa

11) Onko kokonaissähkönkulutukseen laskettu jotain muutakin kuin edellä mainitut toiminnot? Mitä?

12) Jos mahdollista, niin tässä kohdassa eritellään jätevedenpuhdistamon sähkönkulutusta tarkemmin. Seuraavaan kysymykseen on varattu tilaa sähkönkulutuksen esittämiseksi eri tavalla jaoteltuna, jos ei sitä ole mahdollista esittää tässä muodossa.

-Vedenpuhdistusprosessi = tulopumppaus + kaikki sen jälkeen tulevat prosessit ennen lietteenkäsittelyä.

-Ilmastuksen sähkönkulutus = ilmastuksessa käytettävien kompressorien tai puhaltimien yhteenlaskettu sähkönkulutus.

-Lietteenkäsittely = lietteen sakeutus, tiivistys, kuivaus ja laitoksella mahdollisesti tapahtuva mädätys, ei kuitenkaan jatkokäsittely (kuten kompostointia), vaikka se tapahtuisi laitoksen välittömässä läheisyydessä.

Tulopumppauksen sähkönkulutus, kWh vuodessa

Jätevedenpuhdistusprosessin sähkönkulutus, kWh vuodessa

Ilmastuksen sähkönkulutus, kWh vuodessa

Lietteenkäsittelyn sähkönkulutus, kWh vuodessa

Mädätyksen sähkönkulutus, kWh vuodessa

Muu sähkönkulutus (valaistus ym.)

13) Lisätietoja:

14) Laitoksen maksama sähkön keskimääräinen hinta vuonna 2007

snt/kWh

15) Sähköntuotanto

☐ Laitoksella ei ole omaa sähköntuotantoa

☐ Laitoksella on omaa sähköntuotantoa, määrä kWh vuodessa

16) Lisätietoja:

<-- Edellinen

Seuraava -->



Jätevedenpuhdistamoiden energiankäyttö

Lämmön kulutus, talteenotto ja tuottaminen

17) Jätevedenpuhdistamon käyttämä lämpö kaikkiaan vuonna 2007

Tässä ilmoitetaan kaikki laitoksen tarvitsema lämmitys, myös mädättämön lämmitys, jos laitoksella on mädättäjä.
kWh vuodessa

18) Lämmönkulutuksen jakautuminen

Mädättämön lämmitys, kWh vuodessa

Muu lämmitys, kWh vuodessa

19) Lämmön ostaminen

Ostetun lämmön määrä, kWh vuodessa

Ostetun lämmön hinta, snt/kWh

20) Eri lämmitysmenetelmät ja niiden avulla tuotetun lämmön määrät

☐ Kaukolämpö, kWh vuodessa

☐ Öljykattila, kWh vuodessa

☐ Biokaasukattila, kWh vuodessa

☐ Maakaasukattila, kWh vuodessa

☐ Sähkölämmitys, kWh vuodessa

☐ Muu, mikä? kWh vuodessa

21) Biokaasun hyödyntäminen lämpönä

Paljonko laitoksella tuotetaan omasta biokaasusta lämpöä? kWh vuodessa

22) Lämmön talteenotto: Laitoksella otetaan lämpöä talteen seuraavista kohteista, kWh vuodessa

☐ Puhdistettu jätevesi

☐ Poistoilma

☐ Määdäte

☐ Merenpohja

☐ Muu, mikä?

23) Lisätietoja:

<-- Edellinen Seuraava -->



Jätevedenpuhdistamoiden energiankäyttö**Lietteenkäsittely****24) Laitokselta syntyvä liete**

Määrä, märkätonnia vuodessa

Kuiva-ainepitoisuus, %

25) Mitkä seuraavista lietteenkäsittely-yksiköistä ovat käytössä laitoksella?☐ Sakeutus☐ Mädätys☐ Ruuvikuivain☐ Suotonauhakuivain☐ Linko☐ Terminen kuivain☐ Muu, mikä?**26) Miten laitokselta lähtevä liete jatkokäsitetään?**

Liete

☐ kompostoidaan☐ mädätetään☐ poltetaan☐ menee kaatopaikalle; osuus kaikesta lietteestä, %:☐ kuivataan termisesti☐ kalkkistabiloidaan☐ käsitellään muuten, miten?**27) Kuinka kauas liete kuljetetaan laitokselta jatkokäsittelyyn?**

Etäisyys, km

28) Lisätietoja:

<-- Edellinen

Seuraava -->



Jätevedenpuhdistamoiden energiankäyttö

Energiatehokkuus

Seuraavissa kohdissa merkitään laitoksen ilmastusta parhaiten kuvaavat väittämät.

29) Kompressorit

- ☐ Kompressoreita on useita, joten ilmastusta voidaan ajaa kompressoreiden optimialueella energiatehokkaasti.
- ☐ Kompressorien koko ja lukumäärä on rajallinen ja se rajoittaa mahdollisia ajotapoja. Ajoittain laitosta yli-ilmastetaan.
- ☐ Kompressorien kapasiteetti on ajoittain riittämätön.
- ☐ Kompressoreita voidaan ohjata joustavasti taajuusmuuttajien avulla.

30) Ilmastimet

- ☐ Ilmastimien määrä ja jakautuminen ovat sopivia, joten ilmastus toimii joustavasti ilmastimien kapasiteetin vaihtelualueella.
- ☐ Ilmastimien jakautuminen altaassa on vääränlainen, mikä johtaa energiaa kuluttavaan ilmastukseen.
- ☐ Ilmastimien kapasiteetti on **ajoittain** riittämätön, mikä johtaa energiaa kuluttavaan ilmastukseen toisinaan.
- ☐ Ilmastimien kapasiteetti on **jatkuvasti** riittämätön, mikä johtaa energiaa kuluttavaan ilmastukseen.

31) Jäännöshappipitoisuus

- ☐ Laitoksen jäännöshappipitoisuus on keskimäärin 1,0 mg/l - 2,0 mg/l
- ☐ Laitoksen jäännöshappipitoisuus on keskimäärin 2,0 mg/l - 2,5 mg/l
- ☐ Laitoksen jäännöshappipitoisuus on keskimäärin 2,5 mg/l - 4,0 mg/l
- ☐ Laitoksen jäännöshappipitoisuus on keskimäärin yli 4,0 mg/l

32) Lisätietoja:

33) Onko laitoksella tehty jotain, millä energiankulutusta on saatu pienenevään? Mitä?

34) Onko laitoksella suunnitteilla jotain energiankulutuksen vähentämiseksi? Mitä?

35) Palaute:

<-- Edellinen Lähetä



Vesijohtoverkoston energiankäyttö

Tämän kyselyn avulla pyritään selvittämään vesijohtoverkoston toiminnan energiankäyttöä ja sen tehokkuutta. Kaikki tämän kyselyn kysymykset koskevat pelkästään vesijohtoverkosta.

Kysymysten välissä ja kyselyn lopussa on Lisätietoja -kohdat omia vastauksia varten. Tilaa voi hyödyntää esim. silloin, jos kysyttyjä tietoja ei ole mahdollista esittää kysytyssä muodossa tai laitoksella ei ole kysyttyjä tietoja.

Tiedoiksi toivotaan vuoden 2007 toteutuneita tietoja. Jos tiedot ovat joltain muulta vuodelta, se pyydetään merkitsemään lisätietoihin.

1) Vastaaajan tiedot

Vastaaajan nimi

Vastaaajan puhelinnumero

2) Vesihuoltolaitoksen nimi

3) Vesijohtoverkoston pituus

km

4) Paineenkorotusasemat ja taajuusmuuttajat

Paineenkorotusasemien määrä koko verkostossa, kpl

Yli 20 kW:n pumppukokonaisuuksia (moottoreita) sisältävien paineenkorotusasemien määrä, kpl

Kuinka monella edellisen kohdan (yli 20 kW:n asemat) paineenkorotusasemilla on käytössä taajuusmuuttaja, kpl

5) Lisätietoja

6) Verkostossa olevat vesitornit ja alavesisäiliöt

vesitornien määrä, kpl

vesitornien painetasot, mvp (metriä vesipatsasta)

alavesisäiliöiden määrä verkostossa, kpl

7) Verkoston kuluttama sähkö vuonna 2007

Verkoston sähkönkulutukseksi katsotaan kaikki se sähkönkulutus, joka tapahtuu laitoksen ensimmäisen pumppausaseman jälkeen. Verkoston sähkönkulutukseen lasketaan sekä pumppauksesta, automaatiosta että paineenkorotusasemien sähkölämmityksestä aiheutuva sähkönkulutus. (Raakaveden pumppausta ei lasketa tähän)

kWh

8) Verkoston sähkönkulutuksesta pumppausasemien lämmitykseen kuluva osuus on noin

%

9) Osuus perustuu

☐ tietoon ☐ arvioon

10) Lisätietoja

11) Palaute

Tähän kohtaan voi antaa palautetta.

Lähetä



Viemäriverkoston energiankäyttö

Tämän kyselyn avulla pyritään selvittämään viemäriverkoston energiankäyttöä ja sen tehokkuutta.

Kyselyn lopussa on Lisätietoja -kohta omia vastauksia varten. Tilaa voi hyödyntää esim. silloin, jos kysyttyjä tietoja ei ole mahdollista esittää kysytyssä muodossa tai laitoksella ei ole kysyttyjä tietoja.

Tiedoiksi toivotaan vuoden 2007 toteutuneita tietoja. Jos tiedot ovat joltain muulta vuodelta, se pyydetään merkitsemään lisätietoihin.

1) Vastaaajan tiedot

Vastaaajan nimi

Vastaaajan puhelinnumero

2) Vesihuoltolaitoksen nimi

3) Viemäriverkoston pituus

km

4) Viemäriverkoston kuluttama sähkö vuonna 2007

Tällä tarkoitetaan verkostossa tapahtuvan pumpppauksen, pumpppaamojen sähkölämmityksen ja automaation sähkönkulutusta. Laitoksella olevaa tulopumpppaamoa ei enää lasketa osaksi verkostoa.

kWh vuodessa

5) Kaikesta pumpppaamojen sähkönkulutuksesta pumpppaamojen lämmittämiseen kuluva osuus on noin

%

6) Edellinen prosenttiosuus perustuu

☐ Arvioon

☐ Tietoon

7) Pumpppaamot ja taajuusmuuttajat

Pumpppaamojen määrä koko verkostossa

Yli 20 kW:n pumpppukokonaisuuksia (moottoreita) sisältävien pumpppaamojen määrä

Kuinka monella edellisen kohdan (yli 20 kW pumpppaamot) pumpppaamoista on käytössä taajuusmuuttaja

8) Lisätietoja pumpppaamoista tai taajuusmuuttajista

9) Palaute

Lähetä

